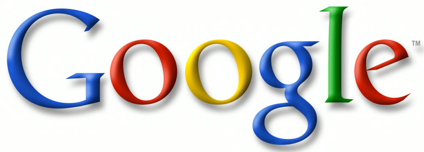
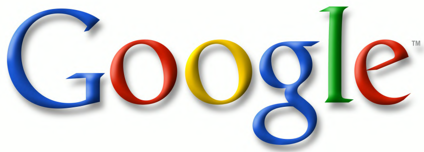
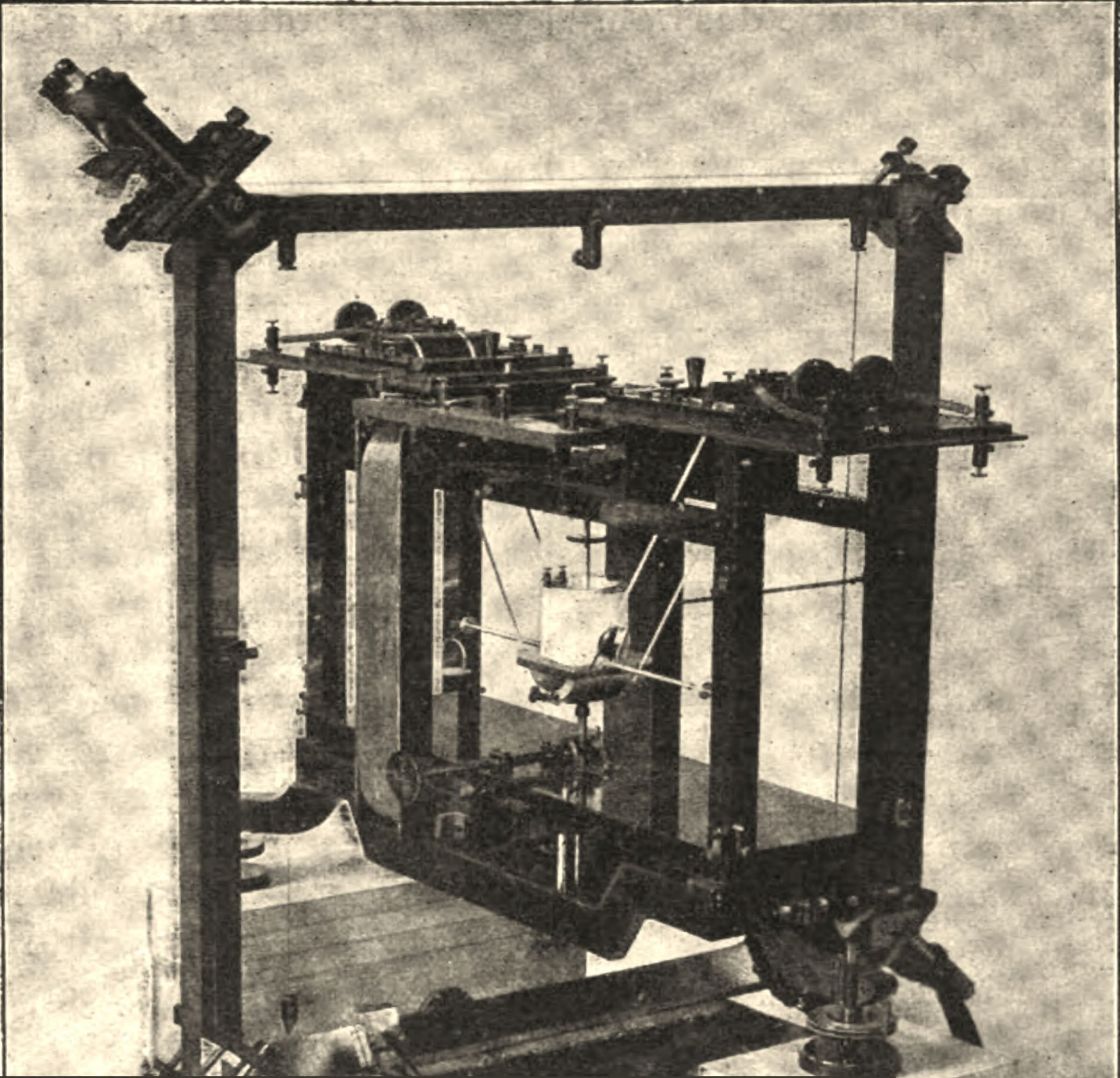






L'Éclairage électrique


Dei
Sub Numine
Viget

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

L'Eclairage Electrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

TOME XI

2e TRIMESTRE 1897

PARIS

GEORGES CARRÉ ET C. NAUD, ÉDITEURS

3, RUE RACINE, 3

Tome XI. Samedi 27 Mars 1897. 4e Année. — N° 14.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SUR CERTAINES

EXPÉRIENCES ET PROPOSITIONS

DE M. JAUMANN

M. Jaumann [1] a été conduit par une série d'expériences très ingénieuses à énoncer cette proposition que le potentiel explosif d'un excitateur est diminué par des variations très petites et très rapides du potentiel.

Dans un premier genre d'expériences, M. Jaumann, à l'aide de variations très rapides du potentiel, transforme une décharge par effluve, en une décharge par aigrette ou par étincelle.

Je ne citerai que l'expérience suivante qui est le type de cette série; la figure 1 en donne le schéma.

Une machine à influence animée d'un mouvement de rotation uniforme charge une batterie C de 12 jarres, (capacité 600 mètres) d'armatures C_1,C_2.

L'une des armatures C_2 de cette batterie est au sol, l'autre C_1 communique 1° avec un fil f tendu parallèlement à une plaque métallique P réunie au sol et à une distance de 5 mm de cette plaque, 2° avec l'un des pôles d'un excitateur secondaire E dont l'autre pôle communique avec une des armatures γ_1 d'un condensateur γ de capacité 1 000 fois plus petite que la capacité de la batterie C ; l'autre armature de γ est au sol.

Si la distance explosive de E est assez grande pour y supprimer les étincelles, *le fil* f *se recouvre d'une effluve brillante*, le jeu de la machine maintient la batterie à un potentiel constant de 12 unités électrostatiques C. G. S.

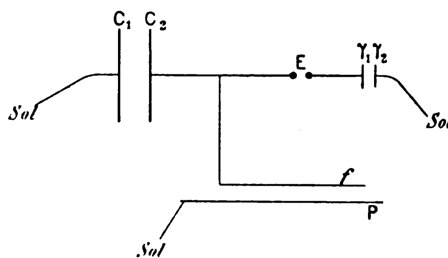


Fig. 1.

Si on rapproche les pôles de E jusqu'au contact une *étincelle* d'environ 0,5 mm de longueur y éclate et en même temps la batterie se décharge en une brillante étincelle entre le fil f et la plaque P.

L'expérience ne réussit que si la batterie est chargée positivement.

Ainsi l'étincelle qui éclate en E, en provoquant une diminution brusque de potentiel entre f et P détermine la décharge par étincelle qui ne se produisait pas dans la charge lente, ce qui est bien conforme à la proposition de l'auteur.

Dans une série d'expériences d'un deuxième genre, représentées par la figure 2, l'auteur essaie de démontrer sa proposition par des mesures électrométriques [1].

[1] Einfluss rascher Potential anderungen auf den Entladungsvorgang, *Sitz. Ber.*, juillet 1888, p. 765.

[1] *Sitz. Ber.*, *loc. cit.*, p. 773.

On mesure le potentiel explosif d'un excitateur I à boules de 1 cm de diamètre, à l'aide d'un électromètre à anneau de garde à

Fig. 2.

indication continue décrit dans un mémoire antérieur (¹).

Le pôle I_2 de l'excitateur principal, le plateau A de l'électromètre, le pôle P_2 d'une machine à influence communiquent avec le sol.

Le pôle I_1 de l'excitateur principal et le plateau B de l'électromètre sont réunis métalliquement d'une façon permanente. Le pôle isolé P_1 de la machine est uni au pôle isolé I_1 de l'excitateur principal par un conducteur présentant une interruption formée par un *excitateur secondaire à pointes* E dont on peut faire varier la distance explosive.

La machine électrique est animée d'un mouvement continu tel que les étincelles à l'excitateur principal se succèdent avec une régularité et une fréquence suffisantes, pour que l'électromètre indique un potentiel sensiblement constant (²).

Si les pointes de E sont en contact ou si la distance explosive est telle qu'il ne passe en E qu'une effluve ou une aigrette, la charge de l'électromètre et de l'excitateur principal se fait par un courant continu ; *elle est continue*. Si les étincelles éclatent en E, la charge se fait par brusques variations de potentiel, *elle est discontinue*.

Dans une des 6 séries d'expériences rapportées par l'auteur, l'excitateur I est formé de sphères de 1 cm de diamètre, distance explosive 0,26 cm; le pôle isolé de l'excitateur est chargé positivement.

(¹) *Sitz. Ber.*, 1887, t. XCV, p. 651.

(²) L'auteur s'est servi aussi de la méthode de la charge lente pour mesurer le potentiel explosif; bien qu'il ne le mentionne pas expressément, il est évident que cette méthode n'est applicable que s'il n'éclate pas d'étincelles en E.

Le tableau suivant donne les potentiels explosifs en unités électrostatiques C. G. S. pour chaque valeur de la distance des pointes de l'excitateur E évaluée en millimètres :

Distance des pointes.	0	2	7	11	20
Potentiels explosifs .	24,34	23,97	22,54	23,6	25,45

L'indication électrométrique minimum correspond à une distance explosive E = 7 mm.

Pour une distance des pointes inférieure à 7 mm, des étincelles brillantes éclatent en E ; de 7 à 15 mm elles sont moins brillantes et prennent de plus en plus le caractère de l'aigrette ; au-dessus de 15 mm on a une véritable aigrette. Pour une distance nulle ou supérieure à 15 mm on a charge continue ; entre 0 et 7 mm on a charge discontinue avec variations d'autant plus rapides que l'étincelle est plus longue.

Le tableau précédent montre donc que le potentiel indiqué par l'électromètre est d'autant plus petit que les variations du potentiel de l'excitateur principal sont plus rapides.

Par des expériences basées sur le même principe que les expériences du premier genre de M. Jaumann, nous avons montré (¹) que sous l'action de variations très rapides du potentiel : 1° le potentiel explosif d'un excitateur non éclairé par des radiations électriquement actives (ultra-violettes ou autres) ne subit aucun abaissement appréciable ; 2° le potentiel explosif d'un excitateur éclairé par ces radiations éprouve une diminution qui peut être considérable. Nous nous proposons de démontrer dans cet article que les expériences démonstratives de M. Jaumann rentrent dans ce dernier cas.

INTERPRÉTATION DES EXPÉRIENCES

Les expériences du premier genre sont fondées sur un genre de décharges peu étu-

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXI, p. 118 et 195, 8 et 22 juillet 1895, t. CXXII. p. 1052, 11 mai 1896; *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 326 et 469, 17 août et 7 septembre 1895; t. VII, p. 370. 23 mai 1896. Le détail complet des expériences sera publié dans ce journal.

diées, l'effluve et l'aigrette; l'interprétation de M. Jaumann a soulevé quelques objecjections et quelques difficultés de la part de M. O. Lehmann, en particulier. Pour notre part nous nous bornerons à remarquer qu'elles sont effectuées en présence de la *lumière ultra-violette des effluve, aigrette étincelle secondaire.*

Dans les expériences du deuxième genre les précautions contre la lumière ultra-violette ne sont pas prises et *a priori* on serait tenté de les expliquer de la même façon que les précédentes; mais en les répétant en plaçant l'excitateur principal à l'abri de toute action pertubatrice de ce genre on observe des résultats de même sens que ceux de M. Jaumann. Notre première proposition semble contredite par l'observation. Pour lever cette contraction apparente discutons de près cette expérience.

Le résultat qu'elle fournit est le suivant : le potentiel *indiqué par l'électromètre* diminue sous l'action de variations très rapides du potentiel. Si on regarde la proposition générale de M. Jaumann démontrée par ce résultat, *on admet implicitement* que le potentiel indiqué par l'électromètre représente toujours la même fraction du potentiel explosif de l'excitateur principal quelle que soit la distance des pointes de l'excitateur secondaire.

Nous montrerons que cette hypothèse est inexacte et qu'on peut rendre compte des expériences, en admettant que le potentiel explosif d'un excitateur *ne dépend pas des variations plus ou moins rapides du potentiel.*

Supposons, pour simplifier, que la machine électrique dont on se sert ait un débit constant, du moins pendant la durée qui s'écoule entre deux étincelles successives à l'excitateur principal;

Supposons de plus, qu'il n'y ait aucune déperdition d'électricité par effluves ou par aigrettes ou par défaut d'isolation;

Dans ces conditions la charge de l'électromètre se fait de la manière suivante :

1° Si la charge est continue, le potentiel croît proportionnellement au temps;

2° Si la charge est discontinue, les étincelles secondaires se succèdent à intervalles de temps égaux θ; le potentiel, nul jusqu'à la première étincelle, augmente brusquement et, après quelques oscillations de durée très faible par rapport à θ, se maintient à la valeur constante v jusqu'à la deuxième étincelle; à ce moment, le potentiel augmente brusquement et se maintient après quelques oscillations à la valeur constante $2v$ jusqu'à la troisième étincelle, et ainsi de suite.

Pour l'un et l'autre mode de charge, si une étincelle éclate à l'excitateur principal, l'électromètre se décharge en un temps extrêmement court par rapport à θ.

Dans les expériences de M. Jaumann, on compare l'indication d'un électromètre à anneau de garde (genre Thomson) pour les deux modes de charge.

Si les étincelles se succèdent rapidement et régulièrement, l'électromètre reste en équilibre et donne le carré moyen du potentiel. Calculons donc ce carré moyen, dans les deux cas qui nous occupent.

1° Charge continue. — Le potentiel croissant proportionnellement au temps on peut écrire

$$V = kt, \tag{1}$$

k étant une constante.

Si T est la durée qui s'écoule entre deux étincelles successives à l'excitateur principal, le carré moyen du potentiel peut s'écrire :

$$C = \frac{1}{T}\int_0^T k^2t^2dt = \frac{k^2T^2}{3},$$

or, le potentiel explosif $\mathcal{V}$, de l'excitateur principal est donné par la relation

$$\mathcal{V} = kT,$$

d'où

$$C = \frac{\mathcal{V}^2}{3}, \tag{2}$$

par conséquent :

Dans les conditions de l'expérience le carré

moyen du potentiel de l'électromètre dans la charge continue est le $\frac{1}{3}$ du carré du potentiel explosif de l'excitateur principal.

2° CHARGE DISCONTINUE. — Si l'excitateur principal se décharge à la n^e étincelle secondaire, pour charger l'électromètre au potentiel explosif $\mathfrak{V}$ de l'excitateur principal, il faut un temps $n\theta$.

Le carré moyen du potentiel de l'électromètre dans la charge discontinue sera

$$D = \frac{1}{n\theta} \sum_0^{n\theta} V^2\, dt.$$

Pour calculer, traçons la courbe représentant V^2 en fonction du temps (fig. 3).

La somme $\sum_0^{n\theta} V^2\, dt$ est égale à la surface de $(n - 1)$ rectangles ayant tous même base θ

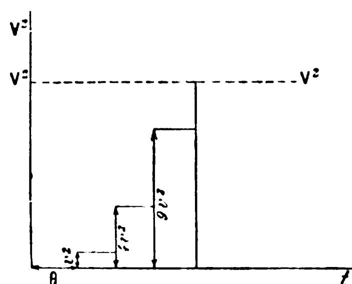


Fig. 3.

et des hauteurs variant comme les carrés des $(n - 1)$ premiers nombres entiers.

Si v est l'accroissement de potentiel par étincelle secondaire : le premier rectangle a une hauteur v^2 et une surface $v^2\theta$; le $(n - 1)^e$ rectangle a une hauteur $(n - 1)^2 v^2$ et une surface $(n - 1)^2 v^2 \theta$; par suite,

$$\sum_0^{n\theta} V^2 dt = [1 + 2^2 + 3^2 + \ldots + (n - 1)^2] v^2 \theta,$$

et

$$D = \frac{1 + 2^2 + 3^2 + \ldots + (n - 1)^2}{n} v^2. \qquad (3)$$

Si on pose $v = \frac{\mathfrak{V}}{x}$ il vient

$$D = \frac{1 + 2^2 + 3^2 + \ldots + (n - 1)^2}{nx^2} \mathfrak{V}^2. \qquad (4)$$

Le rapport des carrés moyens des potentiels, dans la charge discontinue et dans la charge continue, est donc :

$$\frac{D}{C} = \frac{3[1 + 2^2 + 3^2 + \ldots + (n - 1)^2]}{nx^2}. \qquad (5)$$

or

$$1 + 2^2 + \ldots + (n - 1)^2 = \frac{n(n - 1)(2n - 1)}{6},$$

donc

$$\frac{D}{C} = \frac{(n - 1)(2n - 1)}{2x^2}. \qquad (6)$$

Le rapport du potentiel indiqué par l'électromètre dans la charge discontinue au potentiel indiqué dans la charge continue est

$$\sqrt{\frac{D}{C}} = \frac{\sqrt{(n - 1)(2n - 1)}}{\sqrt{2}\, x}. \qquad (7)$$

Pour calculer ce rapport supposons d'abord qu'à chaque étincelle secondaire le potentiel de l'électromètre s'accroisse sans oscillation et considérons deux cas extrêmes :

1° Le potentiel explosif $\mathfrak{V}$ est égal à la valeur finale du potentiel de l'électromètre pour la n^e étincelle secondaire.

$$x = n.$$

L'augmentation de potentiel par étincelle est :

$$v = \frac{\mathfrak{V}}{n},$$

$\sqrt{\frac{D}{C}}$ prend sa valeur minimum $\sqrt{\frac{D_1}{C}}$:

$$\sqrt{\frac{D_1}{C}} = \frac{\sqrt{(n - 1)(2n - 1)}}{n\sqrt{2}}. \qquad (8)$$

2° Le potentiel explosif $\mathfrak{V}$ dépasse infiniment peu la valeur finale du potentiel de l'électromètre après la $(n - 1)^e$ étincelle.

$$x = n - 1.$$

L'augmentation de potentiel par étincelle est

$$v = \frac{\mathfrak{V}}{n - 1},$$

$\sqrt{\frac{D}{C}}$ a sa valeur maximum $\sqrt{\frac{D_2}{C}}$:

$$\sqrt{\frac{D_2}{C}} = \frac{\sqrt{2n-1}}{\sqrt{2}\sqrt{n-1}}. \qquad (9)$$

Par suite de la variabilité des potentiels explosifs des excitateurs, x varie d'un moment à l'autre ; on peut donc se proposer de trouver la valeur du rapport $\sqrt{\frac{D}{C}}$ déduit de la moyenne $\frac{\Delta}{\Gamma}$ des rapports des carrés moyens des potentiels indiqués par l'électromètre dans les deux modes de charge.

Si l'on admet que x prend toutes les valeurs comprises entre n et $n-1$, sans qu'aucune de ces valeurs soit privilégiée, $\frac{D}{C}$ prendra toutes les valeurs comprises entre $\frac{D_2}{C}$ et $\frac{D_1}{C}$. La moyenne de ces valeurs sera :

$$\frac{\Delta}{\Gamma} = \frac{1}{n-(n-1)}\int_{n-1}^{n} \frac{(n-1)(2n-1)}{2}\,\frac{dx}{x^2} = \frac{2n-1}{2n}$$

et le rapport moyen des potentiels indiqués par l'électromètre,

$$\sqrt{\frac{\Delta}{\Gamma}} = \frac{\sqrt{2n-1}}{\sqrt{2}\sqrt{n}}. \qquad (10)$$

Le tableau suivant donne les valeurs maximum, minimum et moyenne du rapport $\sqrt{\frac{D}{C}}$, pour un nombre n d'étincelles secondaires égal à 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30, 50.

n	$\sqrt{\frac{D_1}{C}}$	$\sqrt{\frac{D_2}{C}}$	$\sqrt{\frac{\Delta}{\Gamma}}$
2	0,612	1,224	0,866
4	0,809	1,079	0,935
6	0,871	1,048	0,957
8	0,905	1,034	0,968
10	0,924	1,027	0,974
15	0,949	1,017	0,982
20	0,962	1,012	0,987
30	0,974	1,008	0,991
50	0,984	1,004	0,994

Si nous remarquons que, pour charger l'électromètre à un potentiel $\mathfrak{V}$, il faut un nombre n d'étincelles secondaires d'autant plus considérable que la distance explosive de l'excitateur secondaire est plus petite, nous pouvons tirer les conclusions suivantes du tableau précédent :

1° L'hypothèse admise implicitement par M. Jaumann, que le potentiel indiqué par l'électromètre représente toujours la même fraction du potentiel explosif de l'excitateur principal, est loin d'être justifiée.

2° Le potentiel moyen $\sqrt{\frac{\Delta}{\Gamma}}$, déduit de la moyenne des indications électrométriques, décroît au fur et à mesure qu'on augmente la distance explosive de l'excitateur secondaire (si la décharge de ce dernier est brusque); c'est le fait expérimental constaté par M. Jaumann.

Cependant les rapports des potentiels moyens observés dans les deux charges discontinue et continue semblent inférieurs aux rapports calculés d'après la méthode précédente. Nous ferons remarquer, à ce sujet, 1° que les expériences étaient faites sans précautions contre la lumière ultra-violette et 2° que le calcul précédent a été fait en supposant que dans chaque augmentation brusque de potentiel, l'électromètre et l'excitateur principal atteignent leur potentiel final sans oscillation. En particulier, on a supposé qu'à la $(n-1)^e$ étincelle le potentiel atteint la valeur $(n-1)\,v$ sans la dépasser. S'il se produit des oscillations, le potentiel de l'excitateur principal, à la $(n-1)^e$ étincelle, dépasse la valeur $(n-1)\,v$ d'une certaine quantité α, amplitude maximum des oscillations. L'étincelle n'ayant pas éclaté, on peut donc affirmer que le potentiel explosif $\mathfrak{V}$ n'a pas été atteint et écrire

$$\mathfrak{V} > (n-1)\,v + \alpha;$$

la valeur minimum de x qui figure dans le calcul de $\sqrt{\frac{\Delta}{\Gamma}}$ sera supérieure à $n-1$ et la valeur maximum du rapport des potentiels indiqués par l'électromètre sera plus petite que la valeur calculée (9).

De même les valeurs minimum et moyenne du rapport des potentiels indiqués par l'électromètre seront inférieures aux valeurs déduites des formules 8 et 10.

Si la déperdition de l'électricité n'est plus négligeable ce qui a lieu en général, le problème ne peut plus être traité commodément par le calcul. Il est cependant facile de voir que les lois générales du phénomène ne sont pas changées.

Je me contenterai de faire les remarques suivantes :

1° Si la distance explosive de l'excitateur secondaire tend vers o, le nombre d'étincelles qu'il faut faire éclater à l'excitateur secondaire pour décharger l'excitateur principal, tendant vers l'∞ et la durée qui sépare deux étincelles quelconques vers o, l'indication de l'électromètre dans la charge discontinue tend vers l'indication dans la charge continue;

2° Si la distance explosive E est assez grande pour qu'une étincelle secondaire suffise pour décharger l'excitateur principal, le potentiel indiqué par l'électromètre, dont la charge discontinue est nulle ou négligeable, l'électromètre se chargeant et se déchargeant pendant la durée d'une étincelle, la courbe des carrés des potentiels se réduit sensiblement à deux droites extrêmement voisines, embrassant une aire négligeable. Le potentiel indiqué dans la charge continue gardant une valeur finie le rapport $\sqrt{\frac{D}{C}}$ est nul.

L'expérience que je viens de rapporter et discuter ne démontre donc pas la proposition de M. Jaumann.

AUTRES CONSÉQUENCES

Lorsqu'on compare les résultats obtenus par les divers physiciens dans la mesure des potentiels explosifs statiques, on remarque que ces résultats ne sont pas très concordants, surtout pour les potentiels élevés où les écarts peuvent atteindre $\frac{1}{20}$ ou $\frac{1}{10}$.

M. Jaumann attribuait ces divergences aux variations du potentiel qui surviennent dans la charge par une machine électrostatique (1).

MM. Czermak (2) et Heydweiler (3) ont montré qu'en changeant la grandeur de ces variations, en modifiant la capacité du condensateur dont les armatures communiquent avec les pôles de l'excitateur, on n'observe aucune différence appréciable dans le potentiel explosif.

Le potentiel explosif est donc indépendant de ces variations.

En janvier 1895, M. Jaumann (4) essaie dans un nouveau mémoire de mettre en évidence l'action des variations plus ou moins rapides du potentiel sur le potentiel explosif.

Il y développe cette idée émise déjà en 1888 :

Un excitateur ne se décharge pas pour une valeur déterminée V du potentiel, caractéristique de la forme et de la distance des pôles et des conditions physiques dans lesquelles l'excitateur est placé, mais pour une valeur déterminée du produit $V\frac{\partial V}{\partial t}$.

D'après cette hypothèse, quand la vitesse de variation du potentiel devient *n* fois plus grande, l'étincelle éclate pour un potentiel *n* fois plus petit.

Il est certain que si cette loi était vraie, les petites variations de la charge qui surviennent dans la charge statique, par une machine à influence, auraient une action considérable sur le potentiel explosif, car la vitesse de variation du potentiel prend des valeurs qui sont multiples l'une de l'autre; d'une expérience à la suivante un même expérimentateur trouverait des potentiels explosifs multiples l'un de l'autre, ce qui est évidemment faux.

D'ailleurs cette hypothèse est contredite par les expériences de M. Jaumann lui-même. Je crois en effet qu'on peut affirmer

(1) *Loc. cit.*, p. 775.
(2) *Wien. Ber.*, t. XCVII, p. 307, 1888.
(3) *Wied. Ann.*, t. XLVIII, 218.
(4) Inconstanz des Funkenpotentiales, *Wien. Ber.*, janvier 1895, *Wied. Ann.*, t. LV, p. 658, 1895 et *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 137, 18 janvier 1896.

que les variations du potentiel produites par une étincelle secondaire dans la charge discontinue de l'excitateur précédemment décrite sont au moins 100 fois plus rapides que dans la charge continue et surtout que dans la charge lente.

Dans la charge discontinue l'électromètre devrait donc indiquer un potentiel 100 fois plus petit que dans la charge continue; l'expérience est loin de confirmer cette conclusion.

En résumé, il n'existe aucune expérience démontrant que des variations rapides du potentiel d'un excitateur suffisent pour abaisser son potentiel explosif.

Les conclusions que M. Jaumann a tirées de cette proposition relativement à l'action des radiations ultra-violettes et à l'existence des vibrations longitudinales de l'éther, perdent le caractère expérimental qu'une première interprétation semblait devoir leur accorder (¹).

R. SWYNGEDAUW,
Maître de conférences à la Faculté des sciences de Lille.

LES LAMPES A ARC (²)

On sait qu'il importe pour éviter les crachements dans l'amorçage des lampes à courants alternatifs, d'échauffer les charbons préalablement au jaillissement de l'arc. A cet effet, M. BAGNAL attaque (fig. 1) le frein 20 des charbons pour l'armature 19 d'un électro en série E reliée directement au levier 16, dont le ressort 28 est attaché à la tige du dash-pot 25. Au lancé du courant, ce dash-pot. s'oppose à l'écartement brutal des charbons que le ressort 28 laisse s'écarter seulement de ce qu'il faut pour former un petit arc, qui les échauffe graduellement jusqu'à ce que

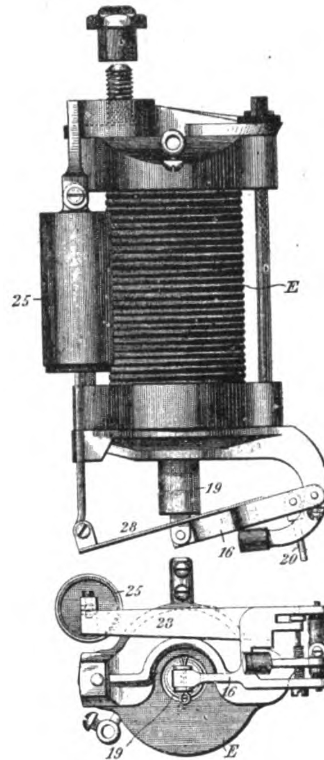


Fig. 1 et 2. — Lampe pour courants alternatifs Bagnal (1896).

leur résistance soit assez diminuée pour assurer la formation sans crachement de l'arc définitif.

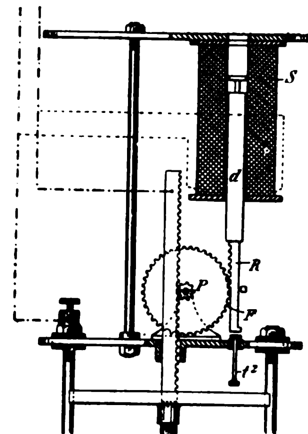


Fig. 3. — Lampe en dérivation Fisher (1895).

Le fonctionnement du mécanisme très simple mais un peu dur de la lampe en déri-

(¹) JAUMANN Inconstanz des Funkenpotentiales. *Wied. ann.*, t. LV, p. 55, p. 656. Longitudinales Light. *Wiedann.*, t. LVII, p. 147. — H. POINCARÉ. Les rayons cathodiques de la théorie de Jaumann, *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 242 et 289, 7 et 14 novembre 1896.

(²) *L'Éclairage Électrique* du 2 janvier 1897, t. X, p. 9.

vation FISHER est facile à saisir sur le schéma (fig. 3). Quand on lance le courant, le solénoïde en dérivation S attire son armature *d*

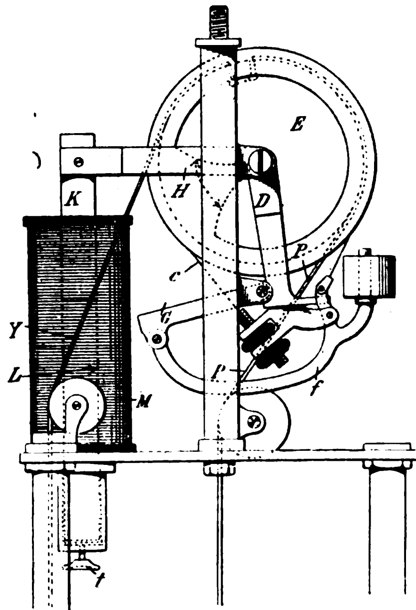


Fig. 4. — Lampe en dérivation Mensing (1895).

jusqu'à ce que la crémaillère R, lâchant, par son plat F, le pignon P, laisse le charbon supérieur mobile tomber au contact du charbon fixe inférieur; puis, le courant diminuant ainsi en S, *d* retombe et amorce l'arc d'une longueur limitée par la butée réglable d'une tige t_2 ou d'un dash-pot.

Le frein de la lampe MENSING est (fig. 4), au contraire, des plus sensibles : dès le lancé du courant, le solénoïde en dérivation M, attire de bas en haut son armature Y et son prolongement en bronze K, dont le levier H D, entraînant par le frein à bande *c c* la poulie E, laisse rapprocher au contact et par leur poids les charbons conjugués par la poulie E et leur corde P, puis la chute de l'armature K les sépare, et fait jaillir l'arc. Dès que cet arc dépasse sa longueur normale, K se relève, relâchant par les leviers G et *f* le frein *c*, qui laisse les charbons se rapprocher, puis les arrête dès que l'arc a repris sa valeur normale. Un bouton *t* permet de lâcher le frein en relevant K pour l'appareillage de la lampe. Dans la petite lampe du même inventeur représentée par les figures 5 et 6 l'extrémité du levier H D embrasse la roue E et porte, pivoté autour de l'axe commun *p*, le bras *g* du frein *c*, réglable par la prise de son bouton *m* dans la coulisse *m'* de D; le second bras *f* du frein, pivoté d'une part sur le bras G F, et de l'autre sur D, en *g*, attaque *c* par la menotte *d*. On voit que,

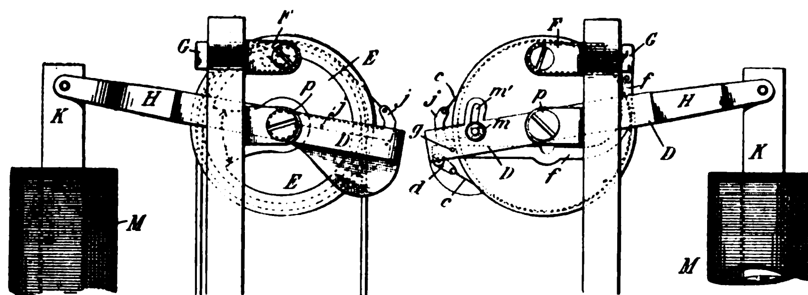


Fig. 5 et 6. — Petite lampe Mensing.

comme précédemment le frein se serre ou se relâche suivant que H monte ou descend.

Les solénoïdes en série B et en dérivation C (fig. 7) de la lampe différentielle SMITH agissent directement sur les poulies K et J, calées sur l'axe de la poulie de suspension E des charbons à corde H H, dont l'écartement est, à l'amorçage, limité par la butée M. Les porte-charbons sont (fig. 9) en deux pièces : F^2, F^3 pour le porte-charbon supérieur, G^2, G^3 pour l'inférieur, avec guides F' et G'. sur les glissières L L, et serrables par les vis *n*, sur les charbons faciles à remplacer. Le globe (fig. 7) est attaché par des lames élastiques R, à manettes R', en prise dans la gorge P et d'un accrochage très facile.

Dès l'arrivée du courant, le solénoïde en série d' de la lampe Hill remonte (fig. 13) l'armature e du solénoïde dérivé d qui, entraînant par ih et par e le frein gg, pivoté

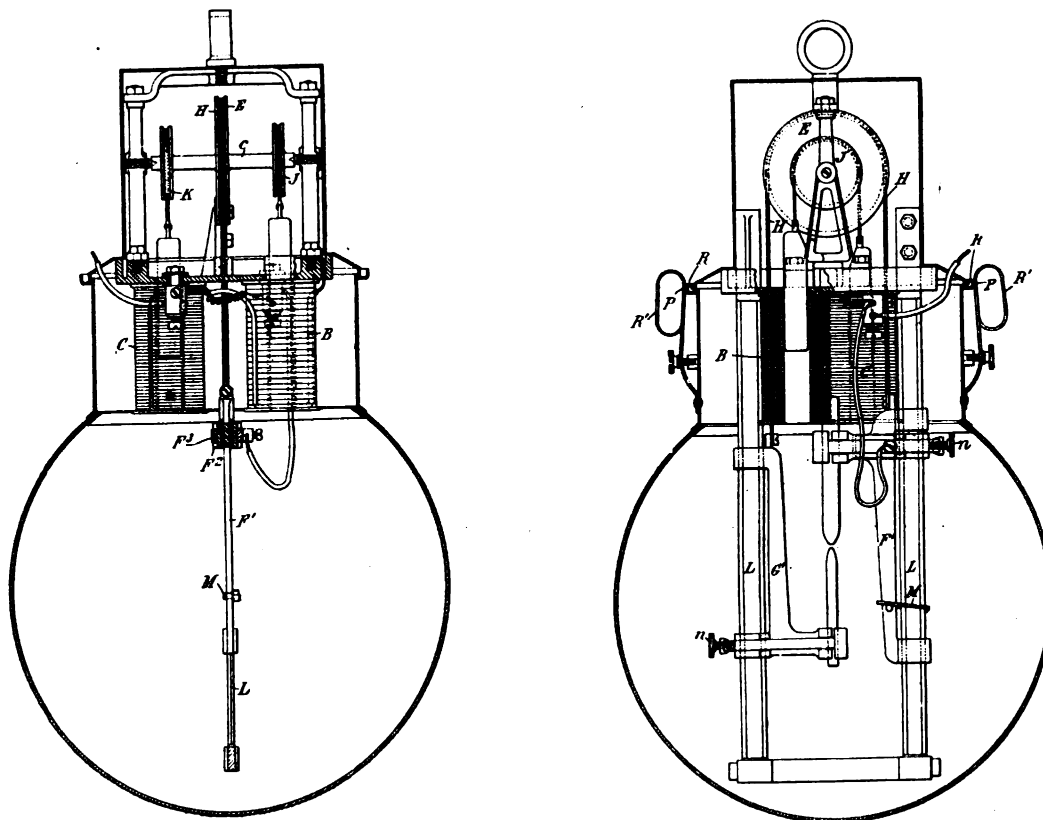


Fig. 7 et 8. — Lampe différentielle Smith (1895).

en g' et en h' serre ce frein sur la roue f,

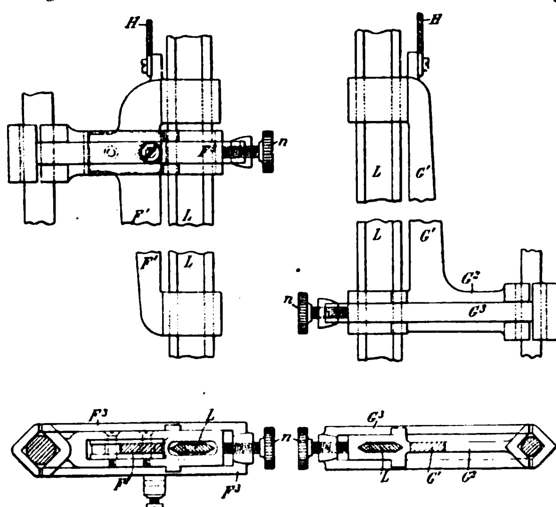


Fig. 9 à 12. — Lampe différentielle Smith. Détail des porte-charbons.

pivotée en f' et engrenée avec la poulie de suspension m, de sorte que la roue f, entraînée par son frein, tourne de manière à séparer les charbons et à amorcer l'arc. Dès que l'arc augmente, d, attirant e, relâche le frein et laisse les charbons reprendre leur écartement normal. On voit en (fig. 15) comment les écrous j_1, j_2 permettent de régler la position du sabot j du frein g, à ressort k.

Les roues de suspension A, A_1 des deux paires de charbons B_1, C_1, B, C de la lampe double Allin sont (fig. 17 et 18) reliées indépendamment à la roue d'échappement D du mouvement d'horlogerie moteur par des cliquets.

L'une des paires de charbons B C est pourvue d'un contact F F^1 qui, à la fin de cette paire, dérive le courant du solénoïde en série S de B C sur celui S^1 de B^1 C^1, dont il amorce l'arc. Quand on coupe la lampe

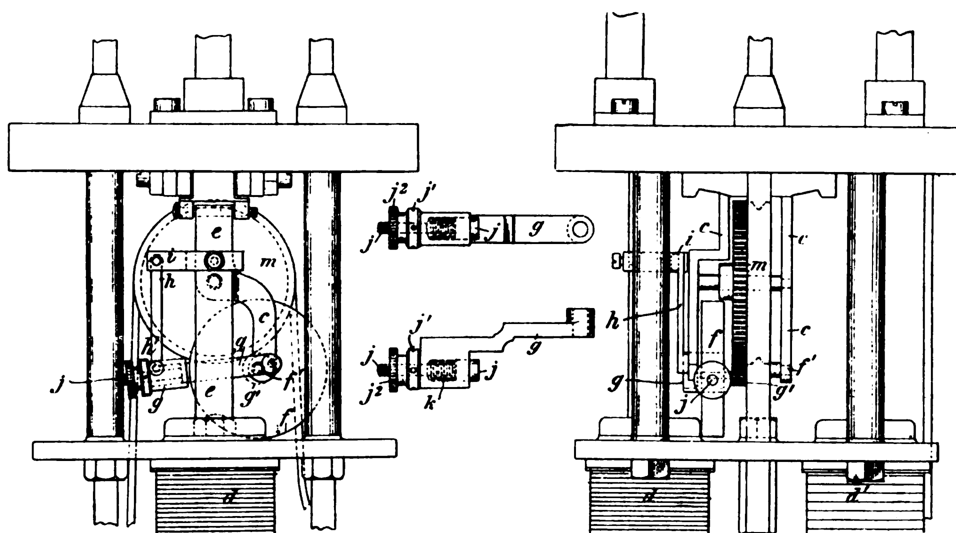


Fig. 13 à 16. — Lampe différentielle de Hill (1895).

du circuit, S abaisse K, qui reste ensuite abaissé par le déclic H jusqu'à ce que, au lancé du courant, le pôle C de S, attirant H, déclenche K. Le solénoïde en dérivation Z,

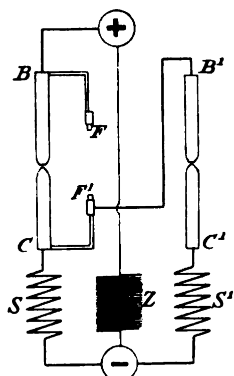
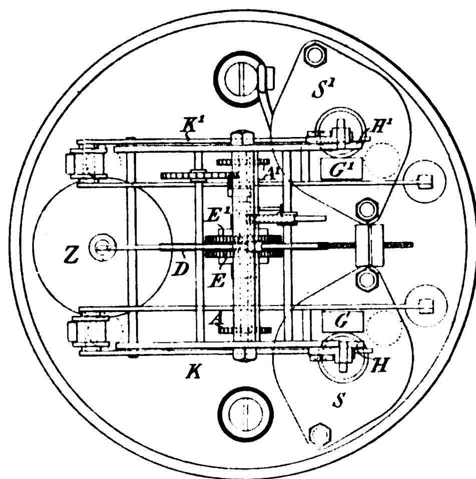


Fig. 17. — Lampe double Allin.



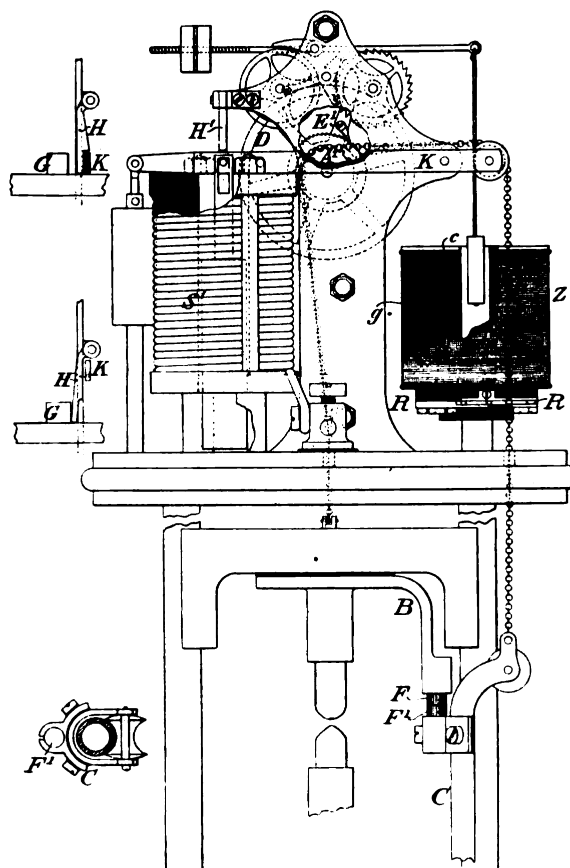


Fig. 18 à 22. — Lampe double Allin (1895).

est à plusieurs enroulements *g c*, reliés à un commutateur R, qui permet de régler ainsi la résistance de Z suivant la tension du courant.

Les solénoïdes en série 1, 1 de la lampe de Thornicroft représentée par les figures 23 et 24 commencent par serrer les pinces 4, 4 sur le porte-charbon supérieur 9 en attirant

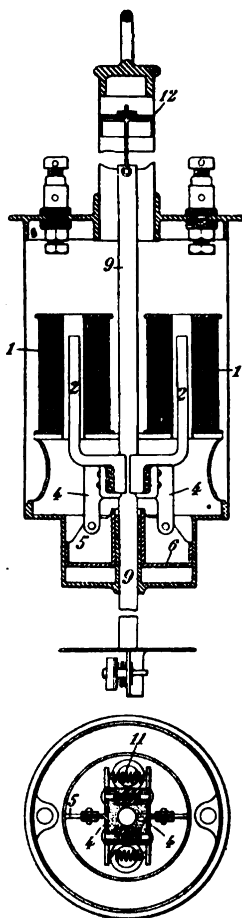


Fig. 23 et 24. — Lampe en série Thornicroft (1896).

autour de leurs articulations 5, les longues armatures 2, 2 malgré leurs ressorts de rappel 11, 11, puis ils soulèvent par ces armatures le charbon 9 en amorçant l'arc, qu'ils maintiennent ensuite de même à sa longueur normale. Les mouvements sont atténués par des dash-pots 5 et 6.

Le coupe-circuit de la lampe Davy représenté par les figures 25 à 28 fonctionne comme il suit. Quand l'arc devient beaucoup trop long, le solénoïde en dérivation *s* attirant p^2 sur le contact p^3, met la lampe en court-circuit sur la résistance x^4, et l'électro en série x^2 laisse son armature x tomber sur p^2, ce qui a pour effet de maintenir le court-circuit tant

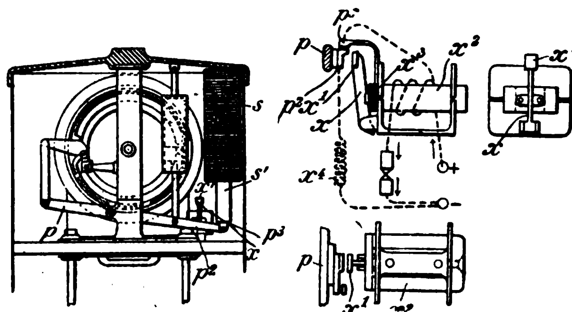


Fig. 25 à 28. — Coupe-circuit de la lampe Davy (1895).

que le levier du réglage p se trouve avoir une position telle qu'il laisse les charbons retomber au contact. Après ce contact, x^2 attirant x rompt le court-circuit et rétablit la marche de la lampe.

G. Richard.

MÉTHODES DE MESURES

Erreurs. — Dans les articles précédents, nous avons étudié les appareils de mesures, pris individuellement, en indiquant leur usage et leur mode d'emploi. Nous avons maintenant à examiner les méthodes qui exigent la combinaison de plusieurs appareils, chacun de ceux-ci devant servir et être réglé comme nous l'avons vu.

Une chose des plus importantes à connaître dans toutes les mesures, c'est la précision du résultat obtenu ; or, celle-ci dépend des erreurs qui ont été commises au cours des mesures, tant par le fait des instruments et des méthodes, que par celui des observateurs.

A propos des galvanomètres (t. VIII, p. 556) nous avons défini ce qu'on appelle la *sensibilité* d'un appareil ; nous avons vu que, plus la sensibilité augmente, plus l'erreur que l'on peut commettre dans l'observation dimi-

nue. Cette erreur, qui peut être aussi bien positive que négative, est une erreur *fortuite ou accidentelle*. Mais l'appareil employé, peut, malgré sa sensibilité, comporter des erreurs de graduation ou d'étalonnage, qui affectent la précision des mesures ; ces erreurs sont appelées *systématiques*, elles ont, pour un instrument donné, un signe et une grandeur invariables.

Prenons comme exemple, une mesure de résistance au pont de Wheatstone. Cette mesure exige l'emploi d'une boite de résistances et d'un galvanomètre, et, si l'on veut obtenir une grande exactitude, il faut noter la température au moyen d'un thermomètre. Les erreurs dont il y aura lieu de tenir compte sont, d'une part, les erreurs *accidentelles* dues à l'observation du galvanomètre et du thermomètre ; d'autre part, les erreurs systématiques dues au réglage imparfait de la boite et aux défauts d'étalonnage du thermomètre. Si nous négligions de noter la température, nous aurions une autre erreur *systématique*, provenant d'un défaut dans la méthode employée ; les erreurs systématiques de ce genre peuvent être de signe quelconque.

Les erreurs systématiques ne s'éliminent pas. Lorsque les observations ont été faites avec soin, au moyen d'appareils connus et susceptibles d'être ultérieurement contrôlés, par des méthodes bien définies, on peut, par la discussion des résultats, connaître la grandeur et le sens des erreurs commises ; dans ce cas, il est prudent de rejeter tous les résultats trop éloignés de la vérité présumée.

Il en est tout autrement des erreurs accidentelles ; comme elles peuvent se trouver aussi bien positives que négatives, le calcul des probabilités démontre, et l'expérience confirme, que, dans un grand nombre de mesures de la même quantité, la somme des erreurs positives est sensiblement égale à celle des erreurs négatives, de telle sorte que la moyenne des résultats obtenus, s'approche d'autant plus de la vérité, que le nombre des mesures est plus grand. Il est bon d'ajouter que la précision n'augmente que *proportionnellement à la racine carrée du nombre de mesures*.

La différence entre la valeur trouvée dans une mesure et la moyenne de la série entière s'appelle l'erreur *apparente*. En faisant la somme des erreurs apparentes, abstraction faite du signe, et en divisant cette somme par le nombre de mesures, on obtient l'erreur *moyenne*. Les probabilités démontrent que l'erreur moyenne ainsi obtenue est, lorsque les erreurs sont bien accidentelles et non systématiques, sensiblement égale à celle que l'on aurait trouvée en prenant, au lieu de la valeur moyenne des mesures, la valeur vraie de la quantité mesurée ; on peut donc dire que cette dernière est égale à la moyenne, plus ou moins l'erreur moyenne.

Prenons comme exemple, les résultats suivants d'une observation, toutes les corrections étant faites pour éviter les erreurs systématiques :

Valeur mesurée	451,20	Erreur apparente	— 0,61
»	452,15	»	+ 0 34
»	452,00	»	+ 0,19
»	451,90	»	+ 0,09
»	451.75	»	— 0,06
»	452,03	»	+ 0,22
»	451,97	»	+ 0,16
»	451.50	»	— 0.31
Somme =	3614,50		1,98
Moyenne =	451,81	Erreur moyenne	± 0,247

Le résultat cherché est : 451,81 ± 0,247.

Il est rare que les mesures électriques soient assez précises pour qu'on ait lieu d'employer les méthodes plus exactes que nous enseigne le calcul des probabilités ; il n'est pas nécessaire d'en parler ici.

La différence numérique entre le résultat d'une mesure et la valeur vraie de la quantité mesurée, est ce que l'on nomme l'erreur *absolue*. Le rapport de l'erreur absolue à la grandeur mesurée est l'erreur *relative*. On peut, à la place de la valeur vraie qui est inconnue, prendre la valeur moyenne ; dans l'exemple précédent, 0,247 est l'*erreur moyenne absolue ;* le quotient :

$$\frac{0,247}{451,81} = 0,00054,$$

est l'*erreur moyenne relative*. Cette dernière est, pratiquement, la plus intéressante, car l'erreur absolue doit toujours être rapprochée de la valeur absolue pour avoir un sens physique. Dans la mesure industrielle d'une différence de potentiel, il importe peu que l'erreur absolue soit de 10 volts, si on mesure 3 000 volts, tandis qu'il est inadmissible de commettre la même erreur sur 100 volts. Dans le premier cas, l'erreur relative est seulement 0,33 p. 100, elle atteint 10 p. 100 dans le second.

Sauf indication contraire, il faudra toujours entendre *erreur relative* quand nous parlerons d'erreur. Pour nous conformer à un usage assez répandu, nous exprimerons toujours les erreurs relatives en tant pour cent.

La connaissance préalable de l'erreur relative qui peut être commise dans une expérience est importante, car elle permet de donner à la mesure de chacun des éléments du résultat la précision nécessaire et suffisante ; elle permet aussi de limiter les calculs au nécessaire. Supposons qu'une mesure quelconque, dont la précision est environ 1 p. 100, nous donne comme résultat : $\frac{5}{7}$, nous nous bornerons à écrire le troisième chiffre significatif :

$$\frac{5}{7} = 0{,}714;$$

si, dans les mêmes conditions, le résultat avait été $\frac{50000}{7}$, nous calculerions encore le troisième chiffre :

$$\frac{50\,000}{7} = 7\,140.$$

Dans toutes les méthodes qui vont suivre, nous indiquerons toujours l'erreur relative que l'on pourra atteindre, en tenant compte à la fois des erreurs systématiques dues à l'imperfection des instruments, et des erreurs accidentelles.

Le résultat d'une mesure est souvent donné en fonction de divers résultats partiels, il faut savoir se rendre compte de l'influence de l'erreur de chacun d'eux sur l'erreur finale.

Représentons par y le résultat cherché, par x le phénomène qui sert à la mesure (déviation d'un galvanomètre, etc.) ; la relation entre x et y, est :

$$y = f(x).$$

L'erreur absolue Δx commise sur x, produit une erreur Δy sur le résultat et on a :

$$y + \Delta y = f(x + \Delta x).$$

L'erreur absolue du résultat est donc :

$$\Delta y = f(x + \Delta x) - f(x),$$

et l'erreur relative :

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{f(x)}.$$

En pratique, quand les erreurs que l'on considère sont de l'ordre des centièmes, ou inférieures, on peut remplacer la différence Δx par la différentielle dx, et écrire :

$$dy = f'(x)\,dx,$$

$$\frac{dy}{y} = \frac{f'(x)\,dx}{f(x)}. \tag{1}$$

L'équation (1), étendue à plusieurs variables, permet de se rendre compte par avance de la précision relative d'une mesure, quand on connaît la grandeur des erreurs qui peuvent être commises dans chacune des observations élémentaires. Il suffit de différentier la fonction par rapport à chacune des variables :

$$\frac{dy}{y} = \frac{f'_u(u, v, \ldots)\,du + f'_v(u, v, \ldots)\,dv + \ldots}{f(u, v, \ldots)}. \tag{2}$$

Prenons comme exemple le cas d'une mesure de puissance dans un circuit de résistance R, parcouru par un courant d'intensité I. Cette puissance est :

$$P = RI^2.$$

Le résultat est une fonction de deux mesures distinctes, R et I ; l'erreur finale est alors, en appliquant l'équation (2) :

$$\frac{dP}{P} = \frac{I\,dR + 2\,R\,dI}{RI} = \frac{dR}{R} + 2\,\frac{dI}{I}.$$

...

Mais nous savons que $\frac{dR}{R}$ est l'erreur relative, e_1, de la mesure de résistance ; $\frac{dI}{I}$ est également l'erreur relative, e_2, de la mesure de I, par conséquent nous pouvons écrire :

$$\frac{dP}{P} = e_1 + 2e_2.$$

Si chacune des mesures peut être faite avec la même précision, et si 1 p. 100 est l'erreur limite admise sur P, on voit qu'il faut mesurer R et I à 0,33 p. 100 près. Ce résultat, pour une expérience très simple, montre bien pourquoi la précision finale des mesures électriques est assez faible, et pourquoi aussi il ne faut pas abuser des décimales.

Des équations (1) et (2), nous pouvons tirer immédiatement quelques considérations, qu'il est bon d'avoir présentes à l'esprit pour simplifier les calculs.

Lorsque le résultat est la *somme* de deux quantités, l'erreur relative est au plus égale à la plus grande erreur relative commise sur chaque facteur ; ce maximum est atteint lorsque les erreurs sont égales.

Dans les mesures composées, il peut arriver que l'erreur commise sur une quantité corrige l'erreur de l'autre, mais il peut aussi arriver que les deux erreurs s'ajoutent ; c'est ce dernier cas que l'on considère toujours dans le calcul, car il donne la valeur limite de l'erreur *possible*.

La *différence* de deux quantités donne une erreur relative d'autant plus grande qu'elle même est plus petite ; c'est pourquoi dans les mesures qui comportent la différence de deux facteurs mesurés, on obtient toujours des résultats beaucoup moins exacts que dans chacune des mesures élémentaires. Il faut, autant que possible, éviter l'emploi des méthodes par différences, ou, tout au moins, rendre les différences aussi grandes que possible.

Le *produit* et le *quotient* de deux quantités, donnent des erreurs relatives égales à la somme des erreurs commises sur chaque quantité.

Quand le résultat est la *puissance m* d'un facteur, l'erreur relative est *m* fois plus grande que celle de ce facteur ; par raison inverse, dans le cas d'une *racine* m^e, l'erreur est *m* fois plus petite.

Méthodes générales. — On appelle *mesures absolues*, celles dans lesquelles le résultat est obtenu directement en fonction des mesures fondamentales de longueur, de masse et de temps.

La mesure des intensités, au moyen d'une boussole des tangentes ou d'un électrodynamomètre, est une mesure absolue quand les constantes ont été déterminées à l'aide des seules dimensions géométriques ; dans ce cas, l'appareil prend lui-même le nom d'absolu.

Les mesures absolues sont rarement employées dans l'industrie, elles sont très délicates, exigent des appareils construits spécialement et elles donnent, si on veut simplifier le mode opératoire ou la construction des instruments, des résultats beaucoup moins précis que les méthodes de comparaison. Les unités électriques les mieux connues : ohm, volt et ampère, renferment encore des erreurs de l'ordre de 0,05 p. 100 ; ce seul fait montre bien la difficulté des mesures absolues.

Les mesures courantes se font par comparaison ; soit, directement, avec une autre quantité de même nature, comme la mesure des résistances au pont de Wheatstone ; soit, indirectement, avec des quantités de nature différente : mesure d'une résistance par le rapport $\frac{E}{I}$, d'une différence de potentiel à une intensité.

Les méthodes de mesures peuvent se diviser en deux catégories : méthodes de zéro et méthodes de déviation.

Dans la première, l'instrument d'observation, galvanomètre ou électromètre, sert simplement à constater un état d'équilibre, il ne doit pas dévier, de telle sorte que, si sa sensibilité est assez grande, l'erreur de la mesure

est simplement due aux grandeurs comparées, la graduation du galvanomètre n'intervient pas. On sait qu'il est plus facile d'obtenir un galvanomètre sensible, que d'éviter les erreurs de graduation ou de lecture ; c'est ce qui donne aux méthodes de zéro une grande supériorité pour la précision des résultats.

La mesure des résistances au pont de Wheatstone est une méthode de zéro ; on peut, par ce moyen, comparer deux résistances avec une précision presque illimitée, les erreurs commises sont alors uniquement dues à l'inexactitude de la boîte employée et à l'ignorance de la température exacte.

Dans les méthodes de déviation, l'erreur d'observation ou de lecture devient prépondérante, elle est comme nous l'avons vu (t. X, p. 163), indépendante de la sensibilité, quand les déviations observées sont égales ; les défauts de graduation interviennent aussi dans le résultat. L'avantage qu'ont ces méthodes, d'être plus rapides et de suivre en quelque sorte le phénomène à mesurer, leur font accorder la préférence dans la plupart des mesures industrielles ; mais dans les expériences précises, de phénomènes constants, on a plus souvent recours aux méthodes de zéro. La mesure d'une résistance en fonction de E et I est une méthode de déviation.

H. Armagnat.

REVUE INDUSTRIELLE

ET DES INVENTIONS

Lampe électrique de mineur système Sussmann.

On a essayé dernièrement pendant quinze jours (novembre 1896) aux charbonnages de Bracquegnies, en Belgique, la lampe de mineur Sussmann qui a satisfait les ouvriers et la direction. Ce court essai ne peut évidemment autoriser à affirmer que cette lampe répond aux desiderata des praticiens, mais, tel qu'il se présente, il permet d'espérer que l'industrie électrique dotera sous peu les mines d'un appareil portatif d'éclairage possédant des qualités importantes que l'on ne peut rencontrer dans la lampe ordinaire à huile.

Nous avons cru intéresser les lecteurs du journal en leur communiquant les renseignements que nous possédons pour le moment sur la lampe Sussmann et qui complètent ceux qui ont déjà été donnés dans ce journal (1).

L'appareil est constitué par un accumulateur à électrolyte consistant, placé dans une boîte métallique, et par une ampoule à incandescence enfermée dans une monture spéciale située au-dessous de l'accumulateur. L'ensemble, de forme élégante, a grosso modo la forme des lampes de mineur ordinaires à huile.

La pile secondaire (accumulateur) formée, est composée de plaques ébarbées en plomb couvertes d'une pâte à oxyde de plomb ou à plomb réduit, selon qu'elles sont positives ou négatives. Deux plaques négatives et une plaque positive, séparées par des lanières en caoutchouc et par l'électrolyte consistant, se trouvent dans chacun des deux compartiments d'une boîte en ébonite qui mesure 125 × 65 × 65 mm. Les deux éléments de l'accumulateur sont reliés en tension, de sorte que le voltage moyen est d'environ 4 volts. Les plaques, leurs connexions et l'électrolyte sont recouverts par une couche épaisse de cire isolante, empâtant les bornes de charge et de prise de courant, et de deux petits tubes munis de leur bouchon en ébonite. Ces derniers, percés d'un trou très petit, servant au dégagement des vapeurs, à la charge et à l'introduction du liquide acidulé qui doit être employé de temps en temps pour humecter l'électrolyte. La boîte en ébonite est protégée par une enveloppe extérieure en tôle dont le couvercle est maintenu par une

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 277, 8 août 1896.

armature à cadenas. Ce couvercle porte, à l'intérieur, les fils souples de liaison, à contacts élastiques, qui relient les bornes de la batterie à l'ampoule à incandescence, et, à l'extérieur, la monture de cette dernière.

La monture de la lampe à incandescence a donc pour base le couvercle de l'accumulateur entretoisé, pour la circonstance, avec un dôme supérieur en tôle qui porte la poignée ordinaire des lampes de mines. Entre la base et le dôme se trouve le cylindre épais en verre, protecteur de l'ampoule, maintenu par un bon serrage et dont les joints sont obtenus au moyen de disques en caoutchouc assurant l'étanchéité et l'élasticité.

L'ampoule à incandescence, qui renferme un filament très court, est munie d'un réflecteur concentrant la lumière d'un seul côté de l'appareil.

Celui-ci, complet, dans l'état actuel de sa construction pèse plus que les lampes de mineur à huile. Son poids est d'environ 1,950 kilogramme.

Il résulte d'essais exécutés que l'accumulateur marche dans de bonnes conditions.

Son rendement en quantité d'électricité est élevé et son rendement en énergie, si l'on tient compte de l'état consistant de l'électrolyte, est très satisfaisant.

Sa capacité est grande : il peut fonctionner pratiquement pendant 12 à 16 heures au régime de sa lampe à incandescence actuelle. Avec les dimensions qu'il possède, il semble qu'on pourrait encore augmenter cette capacité, ce qui permettrait de réduire un peu son volume ou d'augmenter l'intensité lumineuse de son ampoule à incandescence.

La puissance mécanique absorbée par la charge de 100 lampes *à la fois* est extrêmement faible, de 3,7 chevaux environ, puissance insignifiante pour beaucoup d'établissements industriels, en particulier pour les mines de houille.

Relativement aux éléments des batteries ordinaires, ceux de l'accumulateur Sussmann à électrolyte consistant, sont dans des conditions particulièrement avantageuses. Bien construits, leur entretien doit être moins coûteux que celui des premiers.

L'ampoule à incandescence donne une quantité de lumière beaucoup supérieure à celle de la lampe de mineur actuelle. Son intensité lumineuse est de 2,5 à 5 fois celle de cette dernière. Il suffit, pour qu'elle donne de bons résultats, qu'elle soit bien appropriée à son fonctionnement. Ajoutons que la comparaison des intensités lumineuses a été faite avec une lampe à huile bien nettoyée, dont le verre était bien propre, ce qui n'existe plus en réalité, en pratique, après quelques heures de fonctionnement.

Le poids de la lampe électrique Sussmann, est, comme il a été dit, supérieur à celui de la lampe de mineur ordinaire. Mais, outre que ce poids semble pouvoir être réduit, l'appareil reste transportable et son pouvoir d'éclairement compense, et au delà, l'augmentation signalée sur la pesanteur. En effet, à égalité de poids, son intensité lumineuse vaut encore au moins 1,5 à 3 fois celle des lampes à huile.

Son volume se rapproche beaucoup de celui de ces dernières et sa disposition générale est semblable et plaît à l'œil.

Elle possède évidemment tous les avantages résultants de l'emploi de l'électricité comme mode d'éclairage des mines. En premier lieu sa grande intensité lumineuse facilite et rend moins dangereux le travail des ouvriers mineurs surtout dans les endroits difficiles. En second lieu, l'appareil éclaire également dans toutes les positions imaginables, alors que la lampe à huile s'éteint quand on l'incline au delà de certaine limite ; il ne s'éteint pas dans un courant d'air violent ou en cas d'explosion dans la mine. Enfin, comme outillage spécial, il n'exige qu'une dynamo à courant continu que beaucoup de charbonnages possèdent déjà dans leur matériel d'éclairage. S. H.

Tramway électrique à contacts aériens;

Par A. Bochet [1].

Le système à trôlet à conducteurs aériens offre, dans la plupart des cas, la solution la meilleure de la traction mécanique des voitures de tramways, tant au point de vue de l'économie que de la régularité de l'exploitation. Comme des considérations esthétiques en ont fait rejeter l'emploi dans certains quartiers des grandes villes, les inventeurs ont cherché à profiter des avantages qu'offre l'alimentation par station centrale tout en évitant l'effet disgracieux des conducteurs aériens, en plaçant les conducteurs servant à la prise de courant, soit dans des caniveaux souterrains, soit à la surface du sol.

M. Bochet propose une autre solution très simple qui pourra être utilement adoptée lorsque l'exploitation sera faite par trains d'au moins deux voitures.

Voici en quoi elle consiste :

On dispose tout le long de la voie des poteaux qui portent à leur partie supérieure un petit bras horizontal terminé par un contact métallique isolé; ce contact est relié directement aux câbles d'amenée du courant qui sont placés sous terre, au moyen d'un conducteur isolé passant dans l'intérieur du poteau.

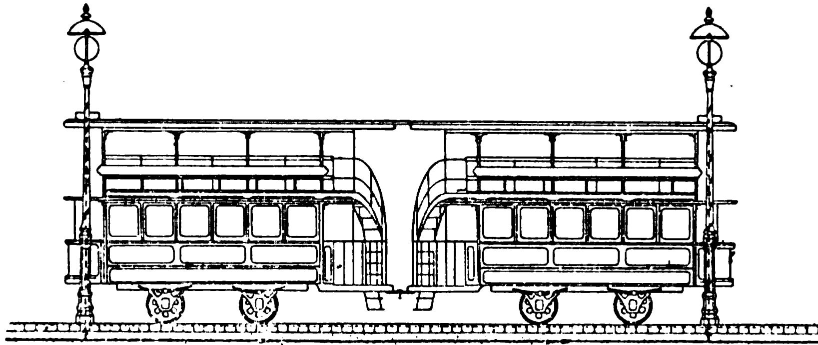


Fig. 1. — Tramway électrique à contacts aériens, système Bochet. Vue latérale.

Chaque voiture porte, au-dessus de la toiture de l'impériale, une barre métallique isolée qui s'étend sur toute sa longueur, parallèlement à l'axe longitudinal de la voiture; lorsque plusieurs voitures sont attelées les unes à la suite des autres, chacune d'elles est munie d'une barre semblable, — les voitures de remorque comme la voiture motrice, — et toutes ces barres sont réunies électriquement entre elles; elles viennent frotter sur les contacts aériens dont nous parlions plus haut et servent ainsi à mettre le circuit des moteurs de la voiture en connexion avec le réseau de distribution.

Si la distance de deux poteaux consécutifs est plus petite que la longueur du train de voitures, la barre d'avant viendra en communication avec un nouveau contact aérien avant que la barre d'arrière ait quitté le contact précédent; l'alimentation des moteurs sera donc continue.

Ce système très simple, ne coûterait guère plus cher à établir que le système à conducteurs aériens; il n'exigerait pas l'emploi des distributeurs nécessaires dans les systèmes à contacts de surface, puisque les contacts ne sont pas à portée du public. Les fils aériens étant supprimés, toutes les objections contre le système ordinaire tombent d'elles-mêmes. Le système de M. Bochet s'applique très aisément aux courbes et aux croisements des voies comme le réprésente le dessin ci-joint (fig. 3).

Il pourrait servir également au retour du courant par conducteurs isolés en disposan

[1] *Bulletin de la Société Internationale des Électriciens*, janvier 1897, p. 67.

simplement sur les voitures deux barres parallèles distinctes et sur les poteaux deux contacts correspondant respectivement à chacune

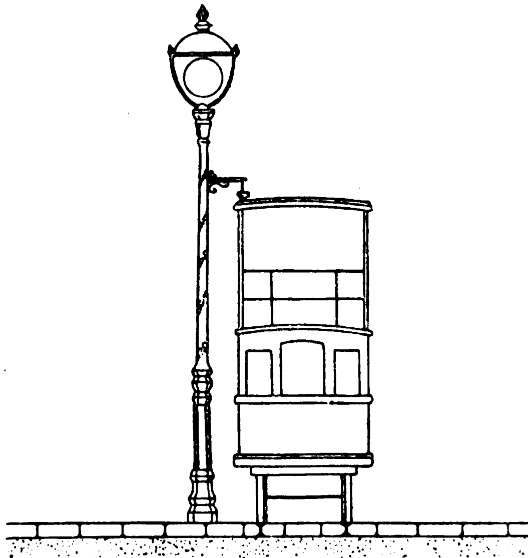


Fig. 2. — Vue en bout.

des barres et reliés l'un au circuit d'aller, l'autre au circuit de retour.

Les contacts seraient placés, comme nous l'avons déjà dit, sur des poteaux placés le long de la voie, soit sur les trottoirs lorsque les lignes de tramways seraient établies sur le

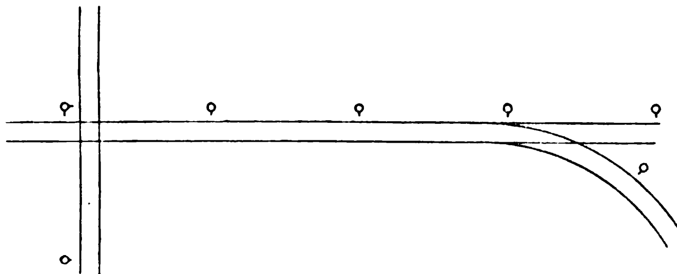


Fig. 3. — Disposition aux courbes d'aiguillage et aux croisements de voies.

côté des chaussées, soit dans l'entre-voie pour les lignes à voie double, établies au milieu des chaussées. On pourrait utiliser les candélabres d'éclairage pour supporter ces contacts.

Les barres des voitures, et les contacts devraient être supportés élastiquement, afin que la prise de courant s'effectue sûrement, en dépit des cahots des voitures.

Le seul inconvénient de ce système, c'est qu'il nécessite l'exploitation par trains d'au moins deux voitures pour ne pas entraîner un rapprochement exagéré des poteaux supportant les contacts. Cela en limitera l'emploi dans l'industrie des tramways.

Par contre son application aux chemins de fer sera particulièrement avantageuse; ce procédé de distribution, dans ce cas, nous paraît être un des meilleurs qui aient été proposés jusqu'ici. G. P.

Sur l'emploi des moteurs synchrones surexcités dans les distributions à courants alternatifs;

Par E.-J. Berg [1].

Les différents problèmes traités par l'auteur dans cette étude, sont :

1° Pour un courant constant dans la ligne d'un transport d'énergie par courant alternatif, quelle est la puissance la plus convenable du moteur synchrone, pour obtenir la plus grande économie possible et quelle est celle-ci ?

2° Pour une charge constante de la réceptrice, quel est le bénéfice qu'on peut réaliser par l'emploi d'un moteur synchrone, pour diminuer les pertes dans la ligne, lorsque cette réduction est suffisamment grande pour permettre l'achat du moteur synchrone, et quelle est la puissance la plus convenable pour ce moteur ?

3° et 4° Lorsque l'emploi d'un moteur synchrone dans une distribution en étude peut permettre de diminuer suffisamment le poids de cuivre dans la ligne ou dans la ligne et le générateur, quelle est la puissance la plus convenable du moteur et l'économie réalisée ?

Le moteur synchrone sera supposé tourner à vide, bien qu'en réalité on puisse obte-

[1] *The Electrical World* des 21, 25 novembre et 5 décembre 1896, p. 623, 656 et 723.

nir le même résultat avec un moteur produisant un certain travail.

Pour donner des équations plus uniformes M. Berg exprime le prix des génératrices, des moteurs synchrones et de la ligne en francs par watt.

La figure 1 représente dans cet ordre d'idées le prix par watt d'une ligne de 1 km de longueur pour différents facteurs de puissance de la réceptrice, en admettant comme prix du cuivre 1 fr. 37 le kilogramme.

Fig. 1. — Prix du cuivre d'une ligne de 1 km de longueur en fr par watt perdu dans cette ligne, pour différents voltages, et pour différents facteurs de puissance de la réceptrice :

I. Facteur de puissance de la réceptrice égal à 1
II. » » » » à 0,85
III. » » » » à 0,75

Le prix d'une ligne avec un facteur de puissance cos φ est évidemment obtenu en multipliant celui de la même ligne pour une charge non inductive par le facteur $\frac{1}{\cos^2 \varphi}$. Ce prix est inversement proportionnel au carré de la tension. Les courbes se rapportent à une ligne monophasée ; pour une ligne triphasée avec la même tension entre les conducteurs, ce prix n'est que les 75 p. 100 du premier ; il est le même pour une distribution par courants diphasés.

Avant d'entrer dans la discussion de l'emploi des moteurs synchrones surexcités, donnons le diagramme des tensions à la réceptrice et à la génératrice.

Ce diagramme est représenté dans la figure 2 ; r est la résistance de la ligne ; s, son

Fig. 2. — Diagramme du courant et des tensions aux bornes de la génératrice et de la réceptrice.

inductance ; u, son impédance ; I, le courant ; E et E_0, les tensions respectives aux bornes de la réceptrice et de la génératrice.

L'expression algébrique de la tension E_0, est :

$$E_0^2 = \sqrt{I^2u^2 + E^2 + 2\,IEu\cos(\omega - \varphi)},$$

où ω est donné par tang $\omega = \frac{s}{r}$ et où φ est le décalage entre la tension et le courant dans la réceptrice.

Cas d'une ligne à courant constant. — La figure 2 montre que si la tension E aux bornes de la réceptrice reste constante en direction et l'intensité I constante en grandeur et direction, les extrémités des vecteurs E et E_0 restent, lorsque le décalage φ varie, sur deux cercles de rayons E et de centres respectifs o et u.

La figure 3 représente ces deux cercles quand on prend pour constantes :

$E = 1000$ volts, $I = 200$ ampères, $r = 0{,}52\ \omega$, $s = 1{,}45\ \omega$, $u = 1{,}54$.

On voit que la chute de tension dans la ligne, différence des valeurs numériques des tensions aux bornes de la génératrice et de la réceptrice, est maxima lorsque ces deux tensions étant de même phase, le cos φ de la réceptrice est le même que celui de la ligne, 0,34 dans le cas de la figure. Dans ce

cas, la chute de la tension dans la ligne est égale au voltage perdu dans l'impédance de cette ligne, c'est-à-dire à la tension qui existerait aux bornes de la génératrice pour un débit de 200 ampères, si les extrémités de la ligne étaient réunies.

Lorsque le récepteur est sans induction ($\varphi = 0$), cette chute de tension est environ la moitié du voltage Iu.

S'il y a avance du courant sur la tension

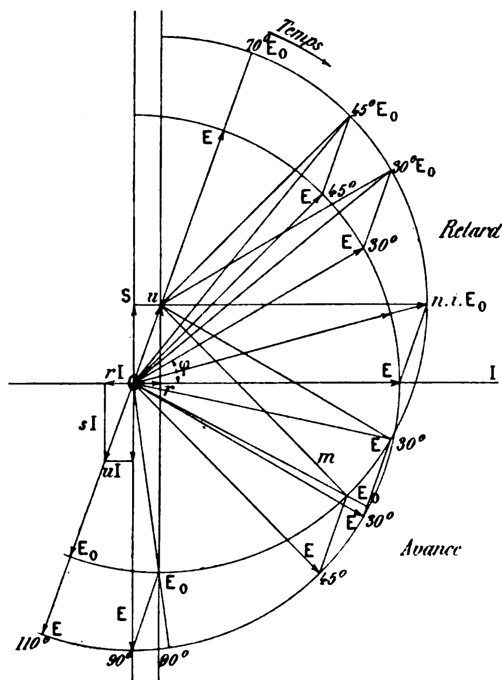


Fig. 3. — Variations du diagramme d'un transport à courant constant en fonction du décalage dans la réceptrice.

aux bornes de la réceptrice la chute de tension décroît ; elle atteint la valeur de la perte de tension ohmique pour un facteur de puissance négatif de 0,99 et s'annule pour un décalage de 30°, en avant du courant sur la tension, c'est-à-dire un cos φ de valeur absolue égale à 0,87.

Pour des décalages plus grands, la tension aux bornes de la réceptrice est plus grande que celle aux bornes de la génératrice, et le maximum de la différence a lieu lorsque celle-ci, E et E_0 ont même phase, c'est-à-dire pour $\varphi = 110°$, ce qui ne peut se présenter, la puissance absorbée par la réception étant alors négative.

Avec une charge non inductive ou d'inductance positive, la chute de tension apparente dans la ligne est toujours positive, plus grande que la perte de tension ohmique, mais plus petite que la perte de tension dans l'impédance.

Le rendement du système dépend donc dans une large mesure du facteur de puissance de la charge. Pour en donner une idée,

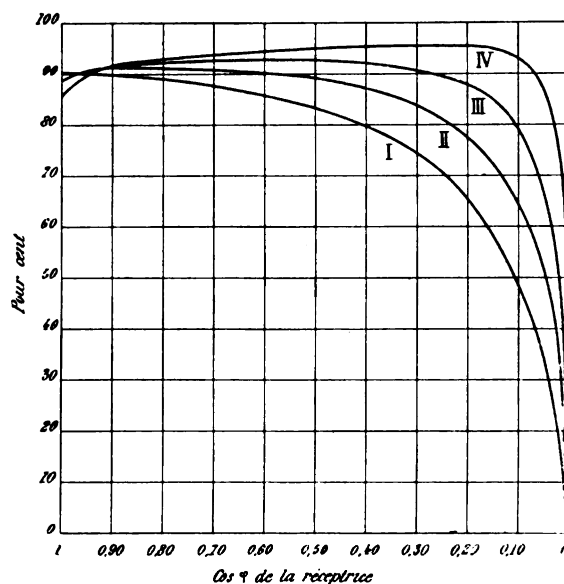


Fig. 4. — Rendement à courant constant d'une transmission en fonction du cos φ de la réceptrice :

I. Sans moteur synchrone.
II. Avec un moteur synchrone de 50 kw.
III. » » » 100 »
IV. » » » 150 »

l'auteur a construit les courbes de rendement du système de distribution ayant les mêmes constantes que ci-dessus en fonction des facteurs de puissance de la réceptrice, sans l'emploi d'un moteur synchrone et avec l'emploi de moteurs synchrones de puissances successives de 50, 100 et 150 kilowatts (fig. 4). Ceux-ci sont capables de diminuer les courants déwattés fournis par la génératrice de 50, 100 et 150 ampères, puisque fonctionnant à vide aux bornes réceptrices, les courants qui les traversent sont sensiblement décalés d'un quart de période en avant de la

tension et par suite opposés aux courants déwattés dans la génératrice.

Sans moteur synchrone, le rendement maximum a lieu pour un facteur de puissance négatif. Avec un moteur synchrone de 50 kw dont l'excitation est réglée pour que le courant qui le traverse soit de 50 ampères, le rendement maximum a lieu pour un facteur de puissance de 0,75 et se trouve augmenté de 88 à 91 p. 100.

Il n'est pas sans intérêt de voir comment varie le rapport de la tension aux bornes de la génératrice et de la réceptrice, lorsque le cos φ de la réceptrice change de valeur, le courant total restant toujours constant. Ces variations, avec les mêmes données que précédemment, sont représentées sur la figure 5.

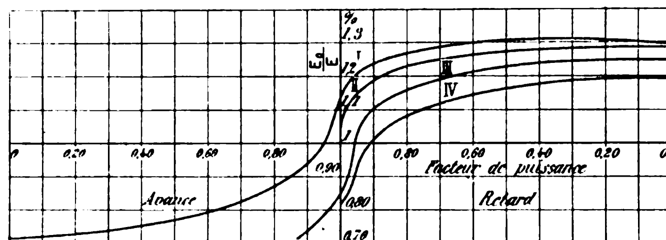


Fig. 5. — Variations du rapport $\frac{E_0}{E}$ en fonction du cos φ de la réceptrice pour une transmission à courant constant avec ou sans moteur synchrone :

I. Sans moteur synchrone.
II. Avec un moteur synchrone de 50 kw.
III. » » » 100 »
IV. » » » 150 »

On voit que sans moteur synchrone le rapport $\frac{E_0}{E}$ est 1,14 pour une charge non inductive. Avec un cos φ de 0,75, chiffre généralement existant dans les distributions ayant des moteurs tournant à faible charge ce rapport est de 1,28.

Avec un synchrone moteur de 50 kilowatts pour annuler une partie des courants déwattés le rapport des tensions n'est plus que de 1,05 pour un cos φ égal à 1 et de 1,24 pour un facteur de puissance de 0,75.

Avec un moteur synchrone de 150 ampères le rapport des tensions est plus petit que 1 pour une charge sans induction; pour un cos φ de 0,75 il est seulement de 1,10, alors que les tensions sont les mêmes à la génératrice et à la réceptrice pour cos φ = 0,9.

En somme pour chaque facteur de puissance, il y a dans les conditions qui nous occupent un moteur synchrone d'une capacité plus convenable que nous allons déterminer.

Si I est le courant total, le courant symphasique de la tension aux bornes dans le récepteur sera I cos φ et le courant quadratique I sin φ; désignons par I_1 le courant dans le moteur synchrone.

Le courant quadratique fourni par la génératrice est donc seulement $I \sin \varphi - I_1$, et par suite le courant symphasique est, avec l'emploi du moteur :

$$\sqrt{I^2 - (I \sin \varphi - I_1)^2}.$$

L'augmentation de la puissance transmise par la ligne qui en résulte, est :

$$E\sqrt{I^2 - (I \sin \varphi - I_1)^2} - EI \cos \varphi,$$

Soient k le prix par volt-ampère du moteur synchrone, k_1 le prix du watt-année et p le pourcentage d'amortissement du moteur synchrone.

Le benéfice réalisé sur l'accroissement de puissance transmise par la ligne, est :

$$k_1 E [\sqrt{I^2 - (I \cos \varphi - I_1)^2} - I \cos \varphi], \qquad (A)$$

Si on déduit les frais d'amortissement du moteur $pk\, I_1\, E$, on a finalement pour l'économie due à l'emploi de ce moteur :

$$k_1 E [\sqrt{I^2 - (I \cos \varphi - I_1)^2} - I \cos \varphi] - pk I_1 E, \qquad (B)$$

expression dont le maximum a lieu pour :

$$I_1 = I \sin \varphi - \frac{Ipk}{\sqrt{k_1^2 + p^2 k^2}}. \qquad (C)$$

La puissance la plus avantageuse du moteur est donc $I_1\, E$, et l'économie réalisée s'obtient en remplaçant dans l'expression (B) I par sa valeur, d'où :

$$IE \left[\frac{k_1^2}{\sqrt{k_1^2 + p^2 k^2}} - k_1 \cos \varphi - pk (\sin \varphi) - \frac{pk}{\sqrt{k_1^2 + p^2 k^2}} \right]$$

On a représenté sur la figure 6, en fonction du facteur de puissance, le courant I_1 et

l'économie réalisée pour une marche continue en charge, en prenant $k = 0{,}107$, $k_1 = 0{,}1555$ et $p = \frac{1}{10}$.

On voit que seulement pour des facteurs de puissance compris entre 1 et 0,99, l'achat du moteur ne serait pas compensé par l'économie du transport; au contraire, pour un cos φ de la réceptrice de 0,80, le moteur le plus convenable aurait une puissance de 105 kilowatts, et le bénéfice annuel serait de 4970 fr.

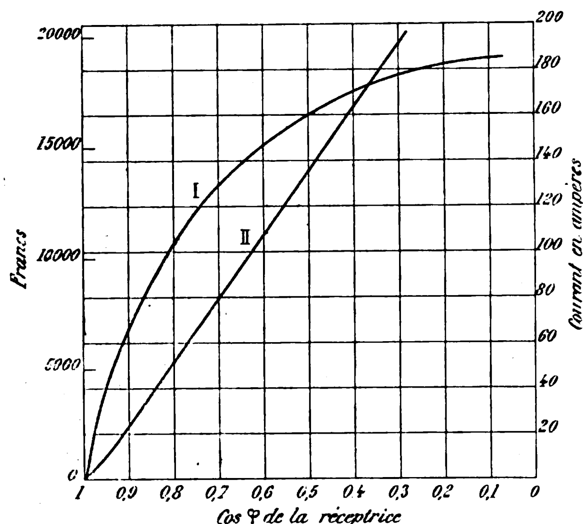


Fig. 6. — Courant du moteur synchrone le plus économique et bénéfice réalisé dans une transmission à courant constant pour différents facteurs de puissance de la réceptrice.

I. Courant du moteur synchrone;
II. Bénéfice réalisé par année.

Le nouveau facteur de puissance du système, est :

$$\cos \varphi_1 = \frac{\sqrt{I^2 - (I \sin \varphi - I_1)^2}}{I} = \frac{\sqrt{I^2 k_1{}^2 - k k_1 p c \cos \varphi}}{k_1 c}.$$

Il est égal à l'unité pour $\cos \varphi = 0$, c'est-à-dire pour une charge complètement inductive; pour des facteurs de puissance plus grands $\cos \varphi_1$ décroît très peu et reste pratiquement égal à un. Dans le cas précédent il est de 0,999.

On peut se demander comment varie le rendement lorsque la distribution ne fonctionne pas constamment à pleine charge, c'est-à-dire lorsque le courant varie. Bien qu'il n'en soit pas en réalité ainsi, nous supposerons pour plus de simplicité que le facteur de puissance de la réceptrice reste constant, à toutes charges et égal à 0,65.

Les courbes pointillées de la figure 7 montrent alors que sans moteur synchrone la puissance maxima est de 150 kilowatts et le rendement correspondant de 0,88.

Si l'on emploie le moteur synchrone le plus convenable, la puissance maxima est portée à 196 kilowatts et le rendement est de 0,90; à la puissance de 150 kilowatts il est de 0,93 au lieu de 0,88 sans moteur synchrone. Les courbes correspondantes sont représentées en trait plein sur la figure 7.

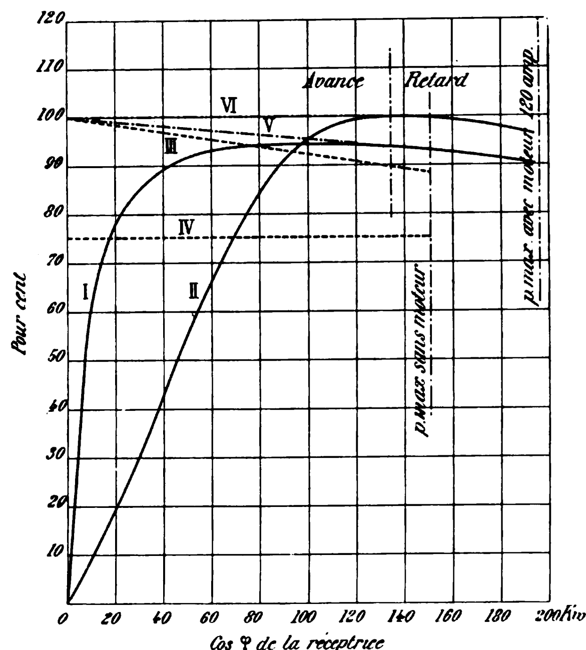


Fig. 7. — Rendements et facteurs de puissance résultants d'une transmission à différentes charges sans compensation et avec compensation la plus économique à pleine charge, le cos φ de la réceptrice étant 0,75 :

I. Rendement du transport, le courant du moteur synchrone restant constant :
II. Facteur de puissance résultant, le courant du moteur synchrone restant constant ;
III. Rendement du transport sans moteur synchrone;
IV. Facteur de puissance supposé constant ;
V. Rendement du transport, le courant du moteur variant pour maintenir le cos φ résultant constant;
VI. Facteur de puissance constant avec courant variable du moteur.

L'excitation du moteur étant laissée constante le rendement du système est naturellement faible aux petites charges puisque le

courant quadratique I_1 restant constant un assez grand courant circule dans tout le système. Le rendement pour une charge de 50 kilowatts n'est alors que de 0,92 avec le moteur alors que sans moteur il atteint 0,96. Il en est de même des facteurs de puissance du systèmes à faible charge, ceux-ci sont en effet pour des puissances inférieures à 70 ki-

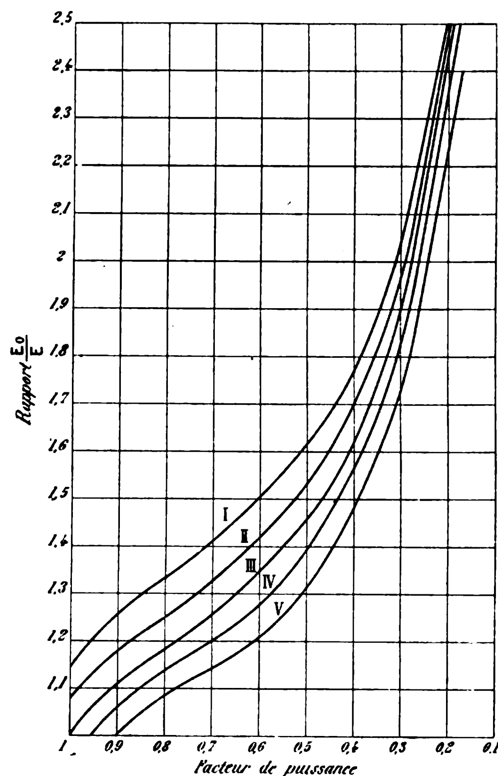


Fig. 8. — Variation du rapport $\frac{E_0}{E}$ en fonction du cos φ de la réceptrice avec et sans emploi de moteur synchrone et pour une charge constante :

I. Sans moteur synchrone.
II. Avec un moteur synchrone de 50 kw.
III. » » » 100 »
IV. » » » 150 »
V. » » » 200 »

lowatts plus petit que s'il n'y avait pas de moteur. Au lieu de laisser l'excitation du moteur constante, on peut la faire varier avec la charge de façon à compenser exactement les courants déwattés de façon à ce que le cos φ du système reste égal à 1 (courbes . — . — fig. 7) jusqu'à ce que ces courants aient pris leur valeur normale, ce qui a lieu pour une puissance de 134 kilowatts.

Cas d'une charge constante. — Le courant symphasique restant constant, l'intensité du courant dans la ligne varie avec la différence de phase. Pour simplifier l'écriture nous désignerons maintenant par I le courant énergétique dans la ligne, le courant total sera alors $\frac{I}{\cos\varphi}$ et le courant quadratique $I \tan\varphi$.

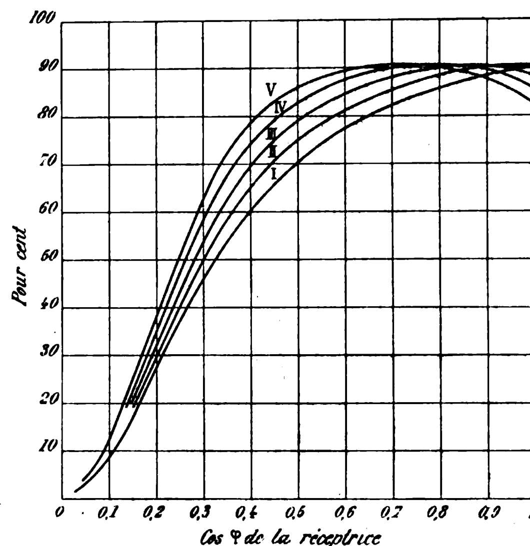


Fig. 9. — Courbes des rendements à charge constante en fonction du cos φ de la réceptrice avec et sans moteur synchrone :

I. Sans moteur synchrone.
II. Avec un moteur synchrone de 50 kw.
III. » » » 100 »
IV. » » » 150 »
V. » » » 200 »

L'expression de la tension E_0 devient alors :

$$\frac{1}{\cos\varphi}\sqrt{I^2u^2 + E^2\cos^2\varphi + 2uEI\cos(\omega - \varphi)\cos\varphi}.$$

Si l'on fait varier le cos φ de 1 à zéro on obtient les valeurs du rapport $\frac{E_0}{E}$ représentées sur la figure 8, où les quantités E, *r* et *s* ont les mêmes valeurs que précédemment et où le courant watté I est égal à 200 ampères.

Cette figure montre avec quelle rapidité doit croître le voltage de la génératrice lorsque le facteur de puissance diminue, ainsi que les diminutions de voltage qu'on obtient pour un cos φ donné par l'adjonction de moteurs synchrones de puissances croissantes.

Le rendement du système dépend comme le montre la figure 9 dans une très large mesure du facteur de puissance, c'est-à-dire de la compensation plus ou moins complète des courants quadratiques. Le rendement maximum, a lieu évidemment pour une charge sans induction, il est alors de 0,91. Le rendement est réalisé pour des facteurs de puissance d'autant plus faible que la puissance du moteur synchrone adjoint est plus grande; pour un moteur de 200 ampères le cos φ correspondant au rendement maximum est de 0,70.

Déterminons maintenant la puissance la plus convenable du moteur synchrone. Avant la compensation les pertes sont $\frac{r I^2}{\cos^2 \varphi}$, après, le courant dans la ligne étant maintenant $\sqrt{I^2 + (I \operatorname{tang} \varphi - I_1)^2}$, ces pertes sont :

$$[I^2 + (I \operatorname{tang} \varphi - I_1)^2] r.$$

L'économie en watts est donc :

$$\frac{I^2 r}{\cos^2 \varphi} - [I^2 + (I \operatorname{tang} \varphi - I_1)^2] r = (2 I I_1 \operatorname{tang} \varphi - I_1^2) r.$$

Le bénéfice en francs par an, en tenant compte de l'amortissement du prix du moteur, est alors finalement :

$$(2 I I_1 \operatorname{tang} \varphi - I_1^2) r k_1 - p k I_1 E,$$

expression qui est, maxima pour :

$$I_1 = I \operatorname{tang} \varphi - \frac{pkE}{2 r k_1}.$$

Ce maximum est tout calcul fait :

$$S = \frac{(2 r k_1 I \operatorname{tang} \varphi - pkE)^2}{4 r k_1}.$$

Le facteur de puissance du nouveau système est :

$$\cos \varphi_1 = \frac{I}{\sqrt{I^2 + (I \operatorname{tang} \varphi - I_1)^2}} = \frac{I}{\sqrt{I^2 + \frac{p^2 k^2 E^2}{4 r^2 k_1^2}}},$$

il est donc indépendant du cos φ de la distribution avant compensation.

Les courbes de la figure 10 représentent les variations du courant I_1 du moteur synchrone et l'économie réalisée, en fonction du facteur de puissance de la réceptrice. On voit en particulier que pour un cos φ de 0,75

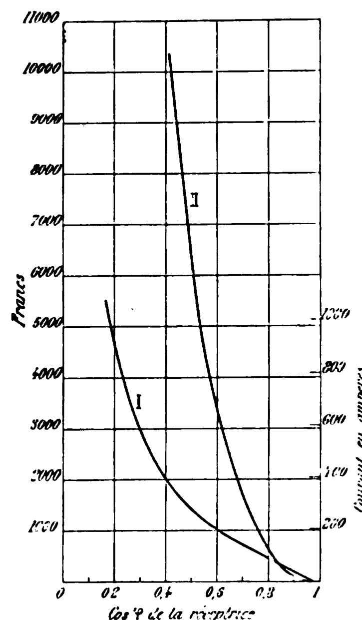


Fig. 10. — Courant du moteur synchrone le plus économique et bénéfice réalisé dans une transmission de puissance constante pour différents facteurs de puissance de la réceptrice :

I. Courant du moteur synchrone;
II. Bénéfice réalisé par an.

de la réceptrice le meilleur courant de compensation est 110 ampères et le bénéfice annuel de 1040 francs pour une charge continue en charge; pour un cos φ de 0,5 le meilleur courant du moteur est 280 ampères et le bénéfice annuel de 6430 fr.

Comme précédemment si l'installation ne fonctionne pas toujours en charge, on peut au lieu de laisser l'excitation constante la faire varier de façon à maintenir minimum le voltage de la génératrice.

Les courbes de la figure 11 montrent les variations en fonction de la puissance réceptrice du rendement et du facteur de puissance du système compensé lorsque le cos φ de la réceptrice reste constant et égal à 0,8. La courbe du rendement du système sans moteur est également figurée. On voit que la capacité la plus convenable du moteur est 86 kilowatts; sans le moteur le rendement à

pleine charge est de 0,86; avec le moteur, il est de 0,89 et le cos φ résultant de 0,95. Le

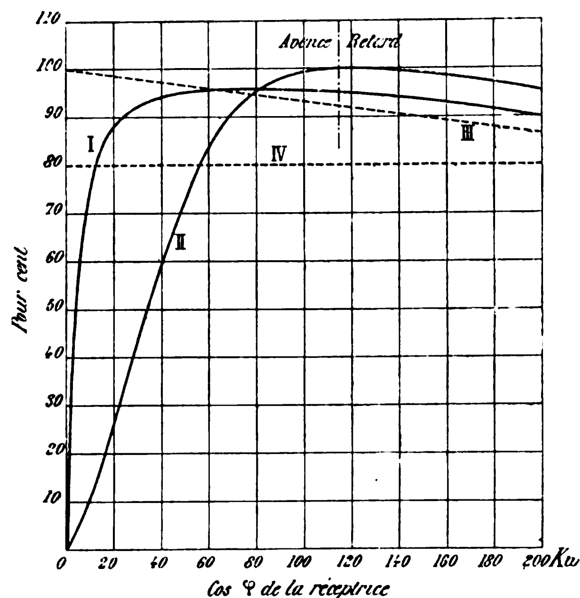


Fig. 11. — Rendement et cos φ résultant d'une transmission en fonction de la charge avec ou sans moteur synchrone le plus économique et pour un cos φ constant de la réceptrice :

I. Rendement avec moteur synchrone;
II. Cos φ résultant » »
III. Rendement sans moteur »
IV. Cos φ constant.

facteur de puissance résultant est égal à l'unité pour une puissance de 118 kilowatts à la réceptrice.

Cas où le moteur synchrone est employé pour réduire le poids de cuivre de la ligne. — La puissance de la réceptrice étant connue, nous conservons les mêmes notations que dans le cas précédent.

Le courant dans la ligne après compensation d'une partie du courant quadratique est toujours $\sqrt{I^2 + (I \operatorname{tang} \varphi - I_1)}$; si donc le prix de la ligne sans compensation est $L = \frac{k_0 IE}{\cos\varphi}$, ($k_0$ étant le prix de la ligne par watt pour un cos φ égal à 1), avec l'introduction d'un moteur synchrone il sera, pour une même perte en watts dans la ligne :

$$L \frac{\frac{I^2 + (I \operatorname{tang} \varphi - I_1)^2}{I^2}}{\cos^2 \varphi},$$

L'économie qui en résulte est donc de :

$$L - L\cos^2\varphi \left[\frac{I^2 + (I \operatorname{tang} \varphi - I_1)^2}{I^2}\right],$$

$$= 2 k_0 I_1 E \operatorname{tang} \varphi - k_0 E \frac{I_1^2}{I}.$$

Si on en déduit le prix du moteur synchrone on obtient pour l'économie résultant de l'emploi d'un moteur synchrone, l'expression :

$$2 k_0 I_1 E - k_0 E \frac{I_1^2}{I} - k E I_1,$$

dont le maximum a lieu pour :

$$I_1 = I \operatorname{tang} \varphi - \frac{kI}{2 k_0}.$$

L'expression de l'économie maxima est alors :

$$S = EI \left[k_0 \operatorname{tang}^2 \varphi - k \operatorname{tang} \varphi + \frac{k^2}{4 k_0}\right].$$

Le facteur de puissance du nouveau système est :

$$\cos \varphi_1 = \sqrt{\frac{4 k_0'^2}{4 k_0'^2 + k^2}},$$

Ce facteur est donc indépendant de l'ancien.

Il est est évident que si le prix de la ligne au kilogramme de cuivre est élevé, le moteur synchrone sera plus avantageux pour un facteur de puissance élevé et une ligne très longue; au contraire si le prix de la ligne au kilogramme est faible, l'avantage aura lieu pour un faible cos φ et une ligne assez courte.

Les courbes de la figure 12 sont établies en prenant :

$$I = 200 \text{ ampères}, \qquad E = 1\,000 \text{ volts}.$$

Le prix du kilogramme de cuivre est 1,37 fr, la perte dans la ligne de 10 p. 100 de la puissance transmise à la réceptrice. Le prix par volt-ampère du moteur synchrone reste le même 0,1037.

La longueur de la ligne est de 1 610 m dans un cas et 3 220 dans l'autre.

On voit que pour une ligne de 1610 m l'emploi du moteur synchrone ne devient avantageux que pour un facteur de puissance inférieur à 0,38, et la capacité de ce moteur augmente très rapidement avec la diminution du cos φ de la réceptrice.

Pour une ligne de 3220 mètres le moteur

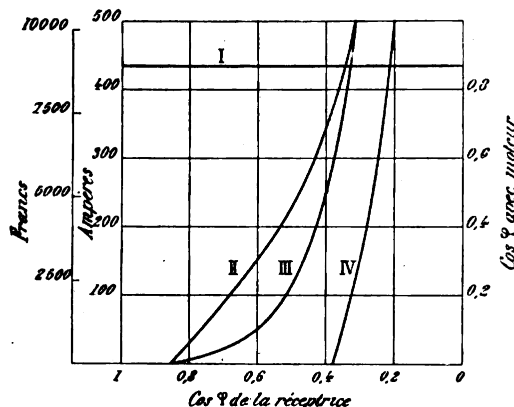


Fig. 12. — Puissance du moteur synchrone le plus économique et bénéfice pour une puissance constante de la réceptrice avec cos φ variable :

I. Cos φ résultant constant avec le meilleur moteur;
II. Ligne de 3 220 m intensité du moteur synchrone;
III. » » bénéfice;
IV. Ligne de 1 610 m, intensité dn moteur synchrone le plus économique.

synchrone devient avantageux à partir d'un facteur de puissance de 0,85. Avec un cos φ de la réceptrice égal à 0,75 l'intensité du moteur synchrone est de 57 ampères et le bénéfice de 6230 francs. Si cos φ = 0,65, I_1 est égal à 110 ampères et le gain est de 15530 francs. On conçoit facilement que l'économie puisse être encore augmentée puisque l'accroissement du courant du moteur peut diminuer le courant dans la génératrice et par suite la capacité de celle-ci, c'est ce qui fait l'objet du paragraphe suivant.

Cas où le moteur synchrone est employé pour réduire le poids de cuivre de la ligne et la puissance du générateur. — Le courant énergétique I est toujours constant.

L'expression du gain total s'obtiendra en ajoutant à celle du gain dans le cas précédent celui provenant de la réduction de puissance et par suite du prix d'achat de la génératrice.

Ce dernier est évidemment en raison directe du rapport des courants dans la ligne avec ou sans compensation, il est donc :

$$g \frac{\sqrt{I^2 + (I \tan \varphi - I_1)^2}}{\frac{I}{\cos \varphi}},$$

ou g prix du générateur est égal à $\frac{k_2 IE}{\cos \varphi}$, k_2 étant le prix par volt-ampère.

Le bénéfice réalisé sur l'achat du générateur est donc :

$$g \left[1 - \frac{\cos \varphi \sqrt{I^2 + (I \tan \varphi - I_1)^2}}{I} \right].$$

Le bénéfice total réalisé sera donc d'après le cas précédent :

$$L \left[1 - \frac{\cos^2 \varphi \left\{ I^2 + (I \tan \varphi - I_1)^2 \right\}}{I^2} \right]$$
$$+ g \left[1 - \frac{\cos \varphi \sqrt{I^2 + (\tan \varphi - I_1)^2}}{I} \right] - kEI,$$

ou :

$$2 k_0 I_1 E \tan \varphi - k_0 E \frac{I_1^2}{I}$$
$$+ k_2 EI \left[\frac{1}{\cos \varphi} - \frac{\sqrt{I^2 + (I \tan \varphi - I_1)^2}}{I} \right] - kEI.$$

La recherche du maximum de cette expression dépend d'une équation du troisième degré. Au lieu de résoudre cette équation l'auteur recherche graphiquement la valeur de ce maximum.

Il construit d'abord les courbes A et B de la figure 13 représentant l'accroissement du prix de la ligne et du générateur avec la diminution du cos φ en prenant toujours :

$$E = 1\,000 \text{ volts} \quad \text{et} \quad I = 200 \text{ ampères}.$$

La longueur de la ligne est de 3220 m, les pertes en watts dans la ligne 10 p. 100, le prix du kilogramme de cuivre 1,37 fr et le du prix volt-ampère du moteur synchrone et de la génératrice de 0,1037.

Le prix de la ligne pour un cos φ égal à 1 de la réceptrice est donc de 16850 fr et celui de la génératrice 0,1037 × 200 000 = 20 732 fr dans les mêmes conditions. Il en résulte que

les équations des deux courbes A et B sont respectivement :

$$A = \frac{16850}{\cos^2 \varphi} - 16850$$

$$B = \frac{20732}{\cos \varphi} - 20732.$$

La courbe C représente la somme des deux.

L'auteur construit ensuite la courbe D du

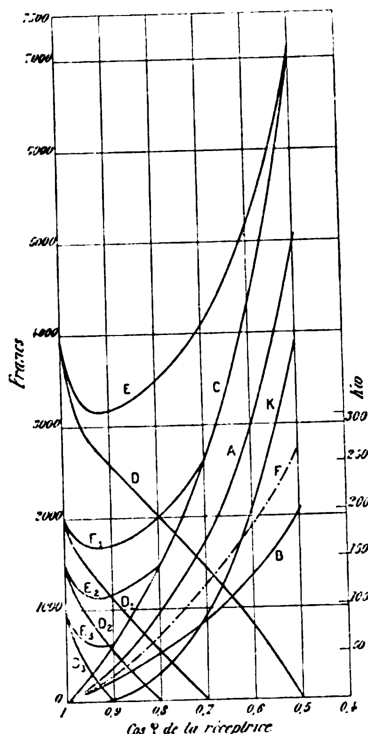


Fig. 13. — Puissance du moteur synchrone le plus économique et bénéficie pour une puissance constante à la réceptrice avec cos φ variable :

A et B, accroissement respectif du prix de la ligne et du générateur en fonction de la diminution du cos φ de la réceptrice.
C, accroissement total.
D_1 D_2,..., prix du moteur synchrone ramenant le cos φ total à une valeur donnée.
E_1, E_2,..., somme des courbes D_1, D_2,..., avec la courbe C.
F, puissance du moteur synchrone le plus économique.

prix du moteur synchrone capable d'amener le facteur de puissance d'une certaine valeur sans moteur synchrone à une valeur quelconque du cos φ_1 résultant. Le courant dans le moteur synchrone est alors I (tang φ — tang φ_1) et l'équation des courbes D :

$$y = 0{,}1037 \times \mathrm{EI} (\mathrm{tang}\, \varphi - \mathrm{tang}\, \varphi_1);$$

on a pris pour la courbe cos φ égal à 0,5.

En ajoutant la courbe C D à la courbe nous aurons le coût total de l'installation diminué du prix de la ligne et de la génératrice pour un cos φ égal à 1 de réceptrice. Le minimum de cette somme E donne par conséquent le prix minimum de l'installation pour un cos φ_1 résultant donné.

On prend ensuite le prix du moteur synchrone correspondant à ce minimum et on le porte en ordonnée à la valeur correspondante du cos φ du récepteur, c'est-à-dire au cos φ sans moteur synchrone. On obtient ainsi la courbe F qui, donne le prix du moteur le plus économique en fonction du facteur de puissance de la réceptrice. La puissance du moteur s'en déduit en divisant le prix par le prix du volt-ampère. Cette transformation d'échelle est du reste faite sur la figure 13.

Nous avons supposé jusqu'ici le moteur synchrone fonctionnant à vide, il est facile de montrer que si l'on employait le moteur non seulement comme compensateur de courant déwatté mais aussi comme moteur, l'économie serait encore plus grande.

En effet soit I_0 l'intensité normale d'un moteur synchrone, I l'intensité du courant watté dans ce moteur et I_1 l'intensité du courant quadratique. Le prix du moteur est kI_0E, le revenu du courant symphasique correspond à un moteur de capacité égale à kIE, celui correspondant à un moteur fonctionnant comme compensateur est kI_1E.

Le bénéfice obtenu en employant le moteur à la fois comme moteur et comme compensateur est donc équivalent à un moteur d'un prix égal à :

$$kIE + kI_1E - kI_0E,$$

ou :

$$kE\,[I + \sqrt{I_0^2 - I^2} - I_0]$$

expression qui est maxima lorsque $I = \frac{I_0\sqrt{2}}{2}$, c'est-à-dire lorsque le décalage du moteur est 45° ou le cos φ 0,71.

L'économie est alors de 41 p. 100.

La recherche du moteur-compensateur le plus convenable pourrait être faite dans ce sens suivant la même marche que celle suivie précédemment. J. R.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du vendredi 19 mars 1897.

M. Pellat, secrétaire général, fait part à la Société des décisions récentes du Conseil. Les membres de la Société seront priés de donner leur avis au sujet de la proposition récemment adoptée par la Commission de la division centésimale de l'heure et de la circonférence, de diviser l'heure en 100 minutes et la minute en 100 secondes. M. Cadot a proposé de faire publier sous les auspices de la Société, des fiches bibliographiques, par nom d'auteur, portant le titre d'un mémoire et un exposé très succinct de ce qu'il renferme; le format adopté serait celui de l'Institut international de Bibliographie, les fiches porteraient la classification décimale.

M. Perrin expose ses recherches sur *la décharge par les rayons Rœntgen et en particulier sur le rôle des surfaces frappées.* Les résultats sont déjà connus de nos lecteurs [1].

M. Benoist fait observer qu'il est nécessaire de distinguer soigneusement entre les faits expérimentaux et les explications. La loi de l'inverse de la racine carrée de la pression pour l'effet total, que M. Perrin a d'ailleurs retrouvée, a été établie par MM. Hurmuzescu et Benoist dans des expériences dont la précision atteint quelquefois $\frac{1}{150}$; elle est dans l'ensemble de $\frac{1}{23}$ pour l'air et de $\frac{1}{62}$ pour l'acide carbonique comparé à l'air.

Des expériences récentes de M. Benoist apportent une nouvelle vérification. Voici quelques chiffres :

Pression en cm de mercure.	Temps de chute des feuilles de l'électromètre.	
P	t	$t\sqrt{P}$
215,3	23",9	350,7
195,3	26"	363,3
136,8	31"	362,6
45,9	38",3	375,1
31,4	51"	365,6
29,5	66",8	362,8
	Moyenne . .	365,1

L'écart moyen est $\frac{1}{29}$. En prenant la moitié des résultats, on peut arriver à la même moyenne avec un écart de $\frac{1}{73}$.

Dans ces expériences la distance entre la feuille d'aluminium qui laisse passer les rayons X et le métal chargé atteignait 15 mm; elle n'était que de 5 mm dans les premières déterminations.

Enfin M. Benoist fait observer que la complexité des rayons X rend assez improbable *a priori* la proportionnalité simple à la pression observée par M. Perrin dans ses expériences sur les gaz seuls et que, d'autre part, dans les expériences sur le condensateur la couche de gaz condensée à la surface des armatures intervient dans un cas et pas dans l'autre; la masse de gaz qui entre en jeu est différente.

M. Korda décrit une expérience qu'il a exécutée avec M. Oudin. Un tube de Crookes est placé sur le secondaire d'une bobine de Ruhmkorff et shunté par un micromètre à étincelles. Quand la charge passe dans l'air une aiguille de déclinaison placée au voisinage de l'appareil subit des déviations qui changent de signe avec la décharge, en conservant la même valeur absolue (18°). Quand le tube est en activité, la déviation est + 26° si le sens de la décharge est tel que les rayons X tombent sur l'aiguille et — 14° dans le cas contraire.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 481, 13 mars 1897.

M. Korda conclut à l'existence d'une dissymétrie dans la distribution du potentiel au voisinage d'un tube de Rœntgen (1).

M. Cornu présente, au nom de M. Bose, professeur au collège de la Présidence, à Calcutta, un appareil destiné à la *production et à l'étude des vibrations de Hertz*.

Dans cet appareil, tous les détails ont été étudiés avec le plus grand soin, et permettent de répéter avec la plus grande facilité toutes les expériences qui établissent le parallélisme de propriétés entre les oscillations de Hertz et les vibrations lumineuses.

L'excitateur est une sphère de platine de 8 mm de diamètre, portée par une tige isolante, de part et d'autre de laquelle se trouvent deux petites sphères reliées aux pôles de la bobine; les étincelles ont une longueur inférieure à 0,3 mm. La bobine et l'accumulateur fermé qui l'actionne sont enfermés dans une petite boîte de cuivre, doublée intérieurement de fer. A l'extérieur de cette boîte un ressort permet d'établir le contact instantané qui fait jaillir la seule étincelle nécessaire pour faire une observation; la surface de la sphère s'altère très peu et l'on peut continuer les essais très longtemps sans avoir besoin de la repolir.

Les vibrations sont reçues sur un *détecteur* analogue à celui de M. Lodge et fonctionnant par la variation de résistance de contacts métalliques sous l'action d'une étincelle oscillante. On obtient un appareil d'un fonctionnement bien régulier en juxtaposant plusieurs fils d'acier, sur lesquels on a enroulé un fil de cuivre fin, et dont l'ensemble couvre une surface de 2 cm sur 4 mm; les contacts sont parallèles à la direction de l'axe du vibrateur. Cet appareil, porté par une pièce d'ébonite, est mis en série avec une pile et un galvanomètre, du type Deprez-d'Arsonval, à aimant circulaire. La pile est un accumulateur fermé ou un élément Daniell à sulfates contenu dans un tube en U dont le fond est rempli d'asbeste; on shunte de façon à avoir une force électromotrice de 0,45 volt environ. On règle d'abord la résistance en pressant plus ou moins les contacts au moyen d'une vis micrométrique; le galvanomètre prend une légère déviation, qui augmente beaucoup dès que le détecteur reçoit les ondes électriques; on revient à l'état initial en donnant de petits chocs à l'appareil.

M. Bose répète une série d'expériences pendant que M. Cornu les décrit. Nous voyons d'abord l'action d'une onde directe, rendue plane par réfraction à travers une lentille d'ébonite; suit la réflexion par un miroir plan ou sphérique, monté au centre d'un cercle autour duquel peut se déplacer le détecteur; puis la réflexion totale sur la face hypoténuse d'un prisme d'ébonite; la même méthode, appliquée à un corps pris sous la forme d'un demi-cylindre vertical, a servi à déterminer l'indice de réfraction du soufre, de la paraffine, du coaltar, de la poix, de l'ébonite, ce qui a permis de tailler la lentille de l'excitateur.

On peut polariser les rayons en leur faisant traverser des grilles métalliques; M. Bose répète l'expérience analogue à celle des nicols croisés, puis montre qu'en interposant entre les deux grilles rectangulaires un corps cristallisé on peut reproduire les effets de la polarisation chromatique. L'expérience est faite avec du spath; de la tourmaline, qui absorbe légèrement le rayon ordinaire; de l'idocrase et de la barytine (prisme droit à base carrée); de l'apatite (hexagonale); du microcline (triclinique).

Un bloc de paraffine, refroidi d'une façon dissymétrique, acquiert une trempe qui se manifeste par la double réfraction.

Les cristaux de gypse fibreux ne laissent passer que la vibration parallèle à la section principale; une serpentine fibreuse présente aussi des propriétés très variables avec la direction. Il en est de même de tous les corps dans lesquels une direction déterminée joue un rôle spécial; une mèche de che-

(1) Les effets observés nous paraissent s'expliquer aisément par l'action *magnétique* du courant dont la répartition dans le tube varieriat avec la direction de la décharge.

veux absorbe la vibration parallèle; le jute donne les mêmes résultats et peut servir à fabriquer des analyseurs ou des polariseurs. Des mesures directes sur la némalite, variété de brucite fibreuse, ont montré que la variation d'absorption est corrélative de celle de la conductilité électrique. On réalise un système analogue au moyen d'un faisceau de fils de verre creux à l'intérieur desquels on a introduit par aspiration du sulfate de cuivre. La main elle-même présente une absorption différente dans le sens de la longueur des doigts et dans le sens perpendiculaire.

Les propriétés des corps feuilletés ne sont pas moins curieuses; un livre absorbe les vibrations parallèles au plan des pages; l'ardoise celles qui sont parallèles aux couches de dépôt.

Les applaudissements qui ont fréquemment interrompu ces explications redoublent quand M. Cornu, dans sa péroraison, nous dépeint l'ardeur avec laquelle M. Bose aspire au relèvement de sa race, dont la civilisation fut si brillante il y a deux mille ans. Il espère que les sympathies qu'il a déjà rencontrées en Europe ne lui feront pas défaut à la Société de Physique. C. R.

Existence de rayons anodiques analogues aux rayons cathodiques de Lénard et de Crookes;

Par P. de Heen [1].

« Considérons deux systèmes de plateaux métalliques munis de pointes *a*, *b*, *c*, *d* et *a'*, *b'*, *c'*, *d'*, indépendants et suspendus à des fils de soie, ainsi qu'un tube de Crookes, muni du plateau *p* qui sert habituellement de cathode et de la croix *c* qui sert habituellement d'anode.

» Nous pouvons, à l'aide de ce système, faire un très grand nombre de combinaisons, qui fournissent d'intéressants résultats dont il serait trop long de donner ici la théorie. Mais voici les faits les plus saillants:

» Considérons d'abord le système de liaison indiqué par la figure et que nour représenterons en abréviation par (*pd*, *cd'*).

» Ce système fournit, *quelle que soit la position des pôles*, l'ombre de la croix; on obtient une ombre *cathodique* ou *anodique*. Au moment du renversement des pôles de la bobine, l'ombre grandit énormément, et ce n'est qu'après une minute qu'elle reprend sa dimension normale. Ce résultat se constate encore très faiblement au troisième plateau.

» Si l'on considère les systèmes d'attache (*pa*, *cb*) ou (*pa'*, *cb'*), on obtient à peu près le

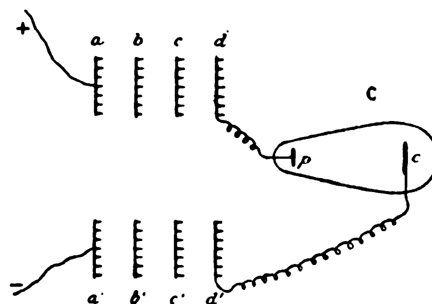


Fig. 1.

même résultat; dans les deux cas, *a* joue le rôle d'anode, *b* le rôle de cathode; de même *a'* joue le rôle d'anode et *b'* le rôle de cathode, et l'on obtient des ombres d'autant plus agrandies que les plateaux sont plus rapprochés. L'ombre grandit encore si *p* est séparé du plateau par une très forte résistance.

» Si l'on renverse les choses, c'est-à-dire si l'on adopte les systèmes de liaison (*pb*, *ca*) ou (*pb'*, *ca'*), l'ombre reprend sa dimension normale, mais elle est beaucoup plus faible, *b* et *b'* se comportent comme véritables cathodes et ne produisent pas d'agrandissement.

» Au lieu de se servir des plateaux *a*, *b* ou *a'*, *b'* on obtient des résultats semblables en se servant des plateaux *b*, *c* ou *b'*, *c'*; dans ces conditions, *b* et *b'* jouent le rôle d'anodes, *c* et *c'* le rôle de cathodes.

» Nous pouvons enfin nous servir d'*un seul système de liaison*, (*pa*) par exemple, le fil de *c* est supprimé. On obtient alors

[1] *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 458, séance du 1er mars.

l'ombre anodique agrandie ; en *b* elle s'agrandit encore ; en *c* elle n'a pas varié sensiblement, mais en *d* elle reprend sa dimension normale beaucoup plus petite. Si l'on parcourt, de la même manière, la série *a'*, *b'*, *c'*, *d'*, l'ombre conserve une dimension normale et invariable ».

Application des rayons de Rœntgen à la mesure des forces électromotrices de contact ;

Par Jean Perrin [1].

« I. Les rayons de Rœntgen, ionisant les gaz qu'ils traversent, y détruisent les lignes de force qu'ils rencontrent. Cette propriété subsiste pour des champs très faibles, et peut être appliquée à la mesure des forces électromotrices de contact.

» Deux lames parallèles, formées par les métaux P et P', sont liées l'une à l'aiguille, et l'autre à la cage d'un électromètre, liée elle-même au point milieu d'une batterie de piles dont les deux pôles sont unis aux deux paires de quadrants. Un pont métallique permet de réunir ou de séparer les deux lames. Après la séparation, les faces en regard sont chargées d'électricités contraires, sous l'influence de la force électromotrice de contact. Si l'on fait maintenant passer entre les plaques un pinceau de rayons Rœntgen qui ne les rencontrent pas, ces rayons détruiront les lignes de force qu'ils atteignent, jusqu'à destruction complète des charges portées par les plaques. Le potentiel dont variera l'aiguille sera lu sur l'échelle graduée qui repère les positions de cette aiguille. Cette variation de potentiel est précisément égale à la différence initiale entre les potentiels des deux couches de gaz situées au contact immédiat de P et de P', c'est-à-dire à la force électromotrice cherchée.

» II. Les mesures sont d'une extrême facilité, les potentiels s'égalisent en quelques secondes, après lesquelles l'aiguille reste immobile, et la sensibilité de l'électromètre employé paraît limiter seule la précision de ces mesures.

» Je me suis borné à employer un électromètre donnant pour 1 volt 50 mm de déplacement sur une échelle graduée. Voici les valeurs de forces électromotrices ainsi mesurées, entre l'iridium pur et différents métaux, soigneusement nettoyés avant chaque expérience :

Platine.	— 0,02 volt.
Palladium	+ 0,01 »
Cuivre.	+ 0,18 »
Zinc	+ 1,06 »
Aluminium.	+ 1,33 »

» La loi des métaux intermédiaires fut d'ailleurs vérifiée avec soin ; par exemple on s'assura que Ir | Zn = Ir | Cu + Cu | Zn à 0,015 volt près.

» Les mesures donnent 0,88 volt pour le couple zinc-cuivre, et 1,08 volt, pour le couple platine-zinc. Les mesures faites antérieurement par M. Pellat donnent 0,86 pour le premier couple et 1,02 volt pour le deuxième.

» J'insiste sur ce fait que ces nombres s'obtiennent alors que les métaux P et P' ne sont pas rencontrés par les rayons, ce qui est en parfait accord avec les théories que j'ai données, toute ligne de force rencontrée dans un gaz en repos par les rayons de Rœntgen étant détruite, même quand elle est rencontrée en un seul point, pour toute la portion située dans ce gaz. Au reste, même quand les métaux P et P' sont rencontrés par les rayons les mesures ne paraissent pas altérées, du moins au degré de précision de l'électromètre employé.

» III. Au lieu de relier les plaques P et P' à la cage et à l'aiguille d'un électromètre, on peut les laisser en communication permanente par un fil qui traverse un galvanomètre. Si alors on fait passer entre ces plaques un faisceau de rayons X, il se forme une véritable pile et le galvanomètre dévie. J'ai réalisé l'expérience en associant en surface douze éléments, où chaque couple était formé par une lame de cuivre et une lame de zinc d'à peu

---

[1] *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 496, séance du 8 mars.

près 100 cm² de surface et distantes de quelques millimètres. J'ai obtenu, sur l'échelle graduée qui donnait les déplacements de l'équipage mobile d'un galvanomètre Thomson, une déviation permanente de 50 mm, correspondant à un courant de 7.10^{-9} ampères.

» L'énergie de ce courant est probablement due à la réaction chimique des métaux sur le gaz ionisé; toutefois, même après un courant prolongé, je n'ai pu déceler dans la pile une force contre-électromotrice due à la polarisation des électrodes [1]. »

De l'action de l'effluve électrique sur les gaz ;

Par Émile VILLARI [2].

« Lorsque les gaz sont traversés par les rayons X ou par des étincelles électriques, ils acquièrent la propriété de décharger les conducteurs électrisés, peut être à cause d'une dissociation partielle de leurs molécules.

» L'effluve électrique des ozonateurs, qui condense l'oxygène en ozone, ne communique pas cette propriété aux gaz; et peut-être semble-t-il même, par quelques expériences faites, que l'air ozoné est moins apte que l'air ordinaire à subir l'influence des rayons X.

» Un gaz activé par les rayons ou par les étincelles perd la propritété de décharger les conducteurs, quand on le fait passer par un ozonateur en activité. Cette propriété neutralisante de l'ozonateur ne cesse point en même temps que l'effluve cesse pour lui; mais elle y persiste pour un certain temps, comme une activité *résiduelle*. Elle est sensible sur les gaz activés par les rayons X, même deux heures après que l'effluve a cessé.

» La propriété neutralisante de l'ozonateur est due aux charges électriques, que l'effluve accumule sur le verre et qui se dispersent lentement. Ces charges peuvent être observées au moyen des belles figures qui se produisent quand on souffle les poudres électroscopiques sur les faces intérieures d'un ozonateur, fait avec des lames de verre ou mieux encore des feuilles d'ébonite, après qu'il a été chargé par l'effluve.

» La durée de la propriété résiduelle croît, peut-être, jusqu'à une certaine limite avec le nombre des étincelles ou avec la durée de l'effluve qui a chargé l'ozonateur; elle diminue, plus ou moins, soit avec des étincelles contraires à celles de la charge, soit quand on le réchauffe fortement, à l'intérieur ou à l'extérieur, avec une flamme à gaz. Cette activité résiduelle peut se communiquer à un tube de verre, en le chargeant à l'intérieur avec une électrode d'un grand rochet en activité.

» On sait que les gaz qui se dégagent d'une flamme ont la propriété de décharger les corps électrisés. De mes expériences à cet égard, il résulte encore :

» Que les produits de combustion d'une carcel, refroidis par un long réfrigérant, ne perdent qu'en partie la propriété de disperser les charges;

» Que cette propriété est annulée quand l'air brûlé, refroidi ou non, passe par un ozonateur en activité;

» Que la propriété résiduelle de l'ozonateur n'est pas appréciable sur les produits chauds de la combustion, et qu'elle dure peu de secondes sur les produits refroidis;

» Que la propriété neutralisante d'un ozonateur peut être complète sur une petite flamme, et incomplète sur une grande; et que, de plus, cette propriété diminue avec la diminution de l'intensité de l'effluve.

» Les expériences ont été presque toutes faites avec une lampe Carcel, et quelques-unes avec une flamme circulaire à gaz, pourvues de leurs cheminées en verre. »

---

[1] Travail fait au laboratoire de Physique de l'École Normale.

[2] *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 558, séance du 15 mars 1897.

Déviation électrostatique des rayons cathodiques;

Par G. JAUMANN ([1]).

D'après la théorie de M. Jaumann sur la nature des rayons cathodiques, ces rayons doivent suivre la direction des lignes de force électrostatiques, de la cathode vers la paroi de verre. Cette conséquence non vérifiée jusqu'à présent par l'expérience, avait été présentée par M. H. Poincaré, comme une objection à cette théorie. Cependant, en dehors de la vérification directe, on peut signaler un certain nombre d'observations, qui font pressentir la possibilité du fait. Ainsi Goldstein, Wiedemann et Ebert, Elster et Geitel ont observé des déviations des rayons cathodiques qui s'expliquent très bien par la propagation suivant les lignes de force.

Les rayons cathodiques se propagent en ligne droite à partir de la cathode vers l'anode; aussi les parois du tube sont-elles fortement électrisées, même encore quelques instants après la suppression des rayons. Cette charge n'est pas du tout accidentelle, mais existe toujours régulièrement et est positive sur les régions de la paroi que viennent frapper les rayons cathodiques.

Si la cathode a une forme compliquée ou qu'il y ait deux cathodes, les rayons ne sont plus rectilignes (Goldstein), de même que dans ce cas les lignes de force ne peuvent plus l'être.

L'ensemble des observations montre que les rayons cathodiques provoquent toujours une charge de la paroi, telle que les lignes de force suivant lesquelles ils se propagent, aient le plus grand développement possible.

Cette tendance est naturellement d'autant plus forte que le rayonnement est plus intense ; il faut donc, si on veut mettre en évidence la déviation électrostatique des rayons, opérer avec des rayons aussi faibles que possible.

La disposition de l'expérience est représentée schématiquement par la figure ci-dessous.

Le tube à décharges, muni d'une seule cathode, est plongé dans un bain d'huile (la cathode est formée d'une plaque concave et sa tige est scellée dans le verre).

L'anode est une petite plaque qui plonge dans l'huile vers la partie supérieure de l'ampoule; elle se trouve à 1 ou 2 cm de la paroi de verre.

La charge est fournie par une machine de

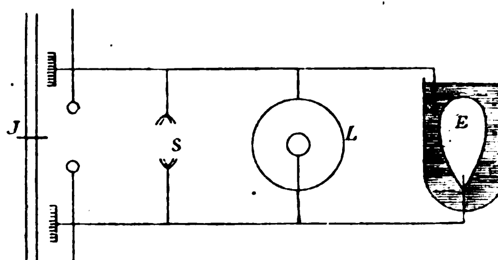


Fig. 1.

Holtz J, mue avec une vitesse uniforme par un moteur. Le courant principal de la machine passe sous forme d'aigrette silencieuse entre les pointes émoussées S. En dérivation sur ce circuit principal se trouvent une bouteille de Leyde L dont les armatures sont isolées et le tube à décharges E.

La différence de potentiel entretenue ainsi entre l'anode et la cathode est de 9 000 volts et plus; mais à cause de la faible conductibilité de l'huile le courant qui traverse le tube est très faible. Le rayonnement doit être assez faible pour que la tache fluorescente qui fait face à la cathode ne soit visible que pour un œil reposé dans l'obscurité; cette tache doit être d'autre part immobile.

La plupart des circonstances accessoires n'ont que très peu d'influence ; si la forme d'appareil indiquée est une des plus commodes, on n'en réussit pas moins avec des tubes de forme différente, ou avec des anodes scellées dans le verre.

On n'a pas non plus à se préoccuper des conducteurs isolés ou non qui peuvent se trouver dans le voisinage.

Comme on le sait, avec la forme de cathode

([1]) *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 252-267.

adoptée dans l'appareil, les rayons cathodiques présentent un éclat particulier en trois régions. Ces régions sont précisément celles où doivent se produire des vibrations longitudinales, intenses, si on considère que les ondes se propagent suivant l'axe de la tige et suivant les rayons de la plaque.

Ces trois régions sont :

1° La surface d'interférence qui bissecte l'angle rentrant entre la tige et la plaque et dessine un anneau verdâtre sur le verre en arrière de la cathode. Les rayons qui interfèrent sur cette surface doivent être de même nature et avoir même phase.

2° Du bord de la plaque partent des rayons intenses, suivant la direction des rayons de la plaque et ils dessinent sur le verre, dans le plan de la plaque un anneau vert.

3° Dans le prolongement de la tige se propagent un faisceau très intense, le seul dont il sera question dans la suite. A son origine ce faisceau présente une section un peu supérieure à celle de la tige.

En faisant varier la forme de la cathode, on peut faire prendre à ce faisceau toutes les apparences soit pour obtenir le foyer de Crookes, soit pour arriver à la surface d'interférence. L'existence de ce faisceau est donc due en partie à l'interférence des rayons émanés de la surface de la cathode.

Sur la partie supérieure du tube, on observe deux taches fluorescentes concentriques qui se recouvrent en partie.

La *tache principale*, relativement très vive au centre, s'assombrit rapidement sur les bords. Les rayons des bords paraissent courbés du côté opposé à l'axe, mais ne sont jamais diffus. La *tache annulaire* qui est aussi très brillante dans les conditions habituelles perd rapidement son éclat quand l'intensité des rayons diminue, beaucoup plus vite que la tache centrale.

Ces deux taches sont déviées par les aimants, à peu près de la même manière. Mais elles se comportent différemment sous l'action des forces électrostatiques.

Le milieu de la tache principale suit l'anode, au moins tant qu'on ne donne pas à celle-ci de trop grands déplacements à partir de la position pour laquelle les milieux des deux taches coïncident ; quand le milieu de la tache principale a atteint l'anneau, il ne se déplace pas davantage. Lorsque l'anode a elle-même une forme annulaire, la fluorescence est répartie uniformément autour de l'anneau.

Les rayons cathodiques qui forment la tache principale sont très sensibles aux actions électrostatiques. En déplaçant un bâton de cire frotté, à 10 cm de la paroi du bain d'huile, on peut amener les rayons jusqu'à la paroi latérale du tube. Cette déviation électrostatique ne peut être rattachée à la déviation magnétique des mêmes rayons. Il est impossible d'admettre que la déviation est due au champ magnétique des courants provoqués par le déplacement du corps électrisé. Ces courants ne peuvent en aucun cas avoir une intensité supérieure à l'intensité du courant total de la machine. Or ce dernier même devrait traverser 1 000 000 de spires enroulées sur le tube, pour créer un champ magnétique susceptible de produire la déviation observée. Il est à remarquer d'ailleurs que pendant la déviation, le corps électrisé n'éprouve aucune perte de charge.

Quand on abaisse brusquement jusqu'à la hauteur de la cathode un bâton de verre électrisé, les rayons sont déviés. Sur la paroi du tube placé du même côté que le bâton de verre, apparaît une tache sombre qui rejette la tache brillante jusqu'à la paroi opposée. Après 0,2 de seconde, tout revient dans l'état primitif, sauf que le centre de la tache principale au lieu de reprendre immédiatement sa place au centre de l'anneau, effectue encore 5 ou 6 oscillations fort amorties, dont la durée est 0,2 seconde environ. — Lorsqu'on enlève le bâton de verre, les rayons sont attirés au lieu d'être repoussés, mais on ne constate dans ce cas aucune oscillation de la tache principale.

Tous les phénomènes de déviation électrostatique des rayons cathodiques se passent d'une manière analogue, la déviation est

temporaire et n'a lieu que si on modifie la différence de potentiel entre deux conducteurs placés au voisinage de la cathode. Parfois, l'oscillation est assez amortie pour que la déviation soit apériodique. Le sens de la déviation est le contraire du sens que prévoit la théorie. Si le tube est placé entre les armatures d'un condensateur, au moment où on charge celui-ci, les rayons cathodiques sont attirés par l'armature négative, puis reprennent leur marche : au moment de la décharge, ils sont attirés au contraire par l'armature positive.

Les déviations produites dans les mêmes conditions par un bâton de verre et par un bâton d'ébonite sont de sens contraire. Les conducteurs reliés au sol, agissent comme positifs quand l'anode est elle-même reliée au sol, comme négatifs quand la cathode communique au sol.

Cette interversion de signe est inconciliable avec les idées actuelles sur les phénomènes cathodiques. M. Jaumann suppose que les lignes de force émanées de la cathode sont positives et que ces lignes de force positives sont suivies par les rayons cathodiques.

Les phénomènes de déviation sont accompagnés de changement d'intensité. En même temps que l'attraction on observe une forte augmentation d'éclat, en même temps que la répulsion une forte diminution de la fluorescence, toutes deux passagères. La fluorescence peut même être complètement éteinte pendant une demi-seconde ou une seconde. Cependant au moyen d'un écran, on peut supprimer la déviation sans que la variation d'intensité disparaisse ; mais on les supprime toutes les deux quand on enferme l'appareil complètement dans une boite métallique reliée au sol.

Reste à expliquer pourquoi la déviation n'est que passagère. Deux explications sont possibles ; on peut admettre que la déviation est fonction de la *vitesse* avec laquelle varie la force électrostatique ; ou bien qu'elle est fonction de cette force elle-même. Dans cette dernière hypothèse, la courte durée de la déviation et son changement de sens seraient la conséquence d'un phénomène secondaire. Ce phénomène secondaire serait une charge des parois de verre ; la présence de cette charge rétablissant le système des lignes de force dans sa forme primitive.

On concevrait alors qu'à côté des déviations passagères il s'en produisit de permanentes, provoquées par une charge permanente des parois. Il faudrait pour cela que l'effet des rayons cathodiques sur les charges électrostatiques, fût annulé par une autre source d'une manière permanente. Ces déviations ne pourraient donc être provoquées que par des corps susceptibles de produire des courants continus, c'est-à-dire par des électrodes, comme on l'observe effectivement dans les cas simples. M. L.

Quelques propriétés des rayons Rœntgen ;

Par A. Winkelmann et R. Straubel [1].

1. *Réfraction.* — Les rayons traversent une première fente pratiquée dans une feuille de plomb, puis tombent sur une seconde fente. Celle-ci est partagée dans sa hauteur en trois parties par deux bandes étroites de plomb. Devant chacune de ces parties est placé un prisme métallique : le prisme du milieu est disposé de manière que la déviation qu'il peut donner soit de sens contraire à celle des deux prismes extrêmes. Les primes présentent un angle réfringent de 30° et sont traversés par les rayons seulement dans la région de leur plus faible épaisseur. Le fer, le cuivre, le zinc, l'argent et le plomb ont donné une déviation très petite, correspondant à un indice inférieur à 1 ; on n'a pu constater de différence d'un métal à l'autre. Avec le platine, le déplacement de l'image est un peu plus accusé, mais les conditions de l'expérience ne permettent pas d'affirmer que ce soit une propriété particulière du platine. Le

[1] *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 324-346.

seul résultat certain, c'est que l'indice des métaux cités est inférieur à 1.

2. *Diffusion et réflexion.* — On a constaté l'existence d'une réflexion diffuse à la surface du clinquant, du zinc, du laiton, du plomb, de l'argent du cuivre, de l'acier, de l'aluminium et du flint. Les tentatives faites pour trouver la réflexion régulière sur l'acier poli sont restées infructueuses.

3. *Absorption par le verre.* — Rœntgen a constaté déjà que les verres à base de plomb sont beaucoup moins transparents que les autres. Les verres de baryte, d'oxyde d'antimoine ou de zinc sont aussi peu transparents. Parmi les éléments du verre étudiés séparément, l'acide borique, l'azotate de sodium, la soude, l'alumine sont les plus transparents : l'azotate de potassium, l'oxyde de zinc, le sable et la potasse, le sont un peu moins; l'oxyde de plomb, le minium, l'oxyde d'antimoine, l'azotate de baryum, sont les plus opaques.

4. *Action sur les plaques photographiques.* — La gélatine des plaques photographiques absorbe très peu les rayons. La fluorescence ne paraît pas jouer de rôle important; car on ne voit pas de différence entre les deux portions d'une plaque dont l'une était recouverte d'une plaque de verre.

5. *Propagation par diffusion.* — Les rayons se propagent par diffusion, car un écran fluorescent placé derrière une plaque de fer, s'illumine quand on interpose une planche de bois qui déborde notablement le fer ; cette illumination est provoquée par les rayons que le bois diffuse dans tous les sens ; une plaque photographique peut être aussi impressionnée par ces rayons diffusés. La paraffine, le charbon de cornue, la cire, le papier, l'ébonite, le verre, le clinquant, l'aluminium, la tôle galvanisée présentent la même propriété, les liquides aussi, mais à un degré bien moindre.

6. *Fluorescence des cristaux.* — La fluorine modifie les rayons de Rœntgen ; lorsque la plaque sensible est appliquée contre un cristal de fluorine, elle est impressionnée bien plus fortement; si on interpose une feuille de papier entre la plaque et la fluorine, le renforcement disparait. Cette expérience prouve que les rayons sont modifiés par la fluorine, car les rayons non modifiés traversent facilement le papier. Dans des expériences de réfraction disposées comme il a été dit plus haut, mais où les prismes de métal étaient remplacés par des prismes en fluorine (de 35° d'ouverture), l'indice moyen des rayons de la fluorine serait 1,46, ce qui d'après les mesures de Sarasin correspond à une longueur d'onde de 274.10^{-6} mm. Des expériences plus précises faites en superposant le spectre de fluorescence de la fluorine, obtenu par un système optique en quartz, aux spectres du thallium, du zinc et de l'aluminium ont donné le même nombre. Il suffit d'ailleurs d'une épaisseur de fluorine très petite, quelques centièmes de millimètre, pour produire la modification en question.

Comme les lames de fluorine sans défaut assez grandes pour être utilisées sont difficiles à trouver, MM. Winkelmann et Straubel ont essayé de les remplacer par des petits fragments : l'effet est beaucoup diminué. Cependant on obtient encore de bons résultats en employant des fragments assez réguliers de 0,3 mm environ.

Plusieurs variétés de cristaux : célestine, barytine, baryte, strontianite, jouissent de la même propriété que la fluorine, mais moins prononcée : le zircone est presque aussi actif. Du reste l'action d'une même substance varie beaucoup avec la provenance, comme l'ont montré des expériences comparatives qui ont porté sur 16 échantillons de fluorine.

Elle varie aussi avec la nature des rayons, c'est-à-dire avec le tube qui leur a donné naissance. Deux cristaux comparés entre eux, avec différents tubes ne conservent pas le même rapport.

Les verres contenant des terres rares,

modifient aussi les rayons de Rœntgen, mais moins énergiquement que la fluorine. Les verres de glucine, d'urane, de cérium, de thorium sont inactifs; le verre de zircone l'est notablement, ceux de didyme et d'erbium un peu moins. Quant à la transparence, elle elle est à peu près celle des verres ayant la même composition, aux terres rares près.

M. L.

Expériences avec les rayons de Rœntgen;

Par R. MAURITIUS [1].

Entre le tube et la plaque sensible sont placés deux réseaux de fil de fer et par dessus ces réseaux un disque de métal. Lorsque le tube est à une distance convenable, l'image du réseau est parfaitement nette; seulement au voisinage de l'ombre les lignes s'infléchissent et dans l'intérieur de l'ombre même elles paraissent doublées [2].

Longueur d'onde des rayons de Rœntgen;

Par L. FOMM [3].

L'auteur décrit des expériences de diffraction effectuées avec les rayons de Rœntgen. La fente dont la largeur varie entre 0,1 et 2 mm était placée dans la région où la fluorescence produite sur un écran enduit de platinocyanure de baryum était le plus intense. Comme contrôle, on fait chaque fois une expérience comparative avec la lumière bleue.

L'image de la fente a les dimensions que lui assigne la construction géométrique; on n'aperçoit pas de frange sur les bords; cependant l'intérieur de l'image est sillonné de lignes obscures et brillantes; cette apparence s'observe aussi dans la lumière ordinaire lorsqu'on prend une fente de diffraction trop large.

Dans certaines conditions on réussit à obtenir au milieu de l'image de la fente un premier minimum, on peut alors d'après les formules et les tables de Lommel calculer la longueur d'onde en fonction des données expérimentales. M. Fomm a trouvé ainsi

$$\lambda = 0{,}014\,\mu \text{ [1]}.$$

M. L.

Effet des rayons de Rœntgen sur un jet de vapeur;

Par F. RICHARZ [2].

Les rayons de Rœntgen provoquent la condensation de la vapeur. Le jet de vapeur arrive dans une caisse métallique fermée en communication métallique avec le sol; cette caisse forme écran électrique et soustrait la vapeur à l'action directe des décharges électriques de la bobine. Les rayons de Rœntgen pénètrent dans la caisse par une fenêtre garnie d'une feuille d'aluminium.

Ce fait doit être rapproché de cet autre, que les rayons de Rœntgen rendent l'air conducteur, et aussi de l'action qu'exercent sur la condensation les poussières. L'auteur, en collaboration avec Robert von Helmholtz a démontré déjà qu'il doit se produire dans ce dernier cas, une série de phénomènes chimiques et physiques, aboutissant probablement à une formation d'atomes ou ions isolés; de même les gaz rendus conducteurs doivent être décomposés en ions (Giese et Schuster); ce sont ces analogies qui ont amené l'auteur à effectuer cette expérience.

M. L.

---

[1] *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 346-350.

[2] Voir Les rayons X et les illusions de pénombre, par G. SAGNAC, dans *L'Éclairage Électrique* du 28 novembre 1896, t. IX, p. 408, où l'auteur donne une explication très simple des apparences observées par M. Mauritius.

[3] *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 350-354.

[1] Voir à ce propos la note de la page 409 du tome IX où M. Sagnac discute l'exactitude de ce chiffre.

[2] *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 592-595.

BIBLIOGRAPHIE

La traction électrique, par Paul Dupuy. Un volume in-8° de 504 pages. — *H. Bécus*, éditeur, Paris. Prix 12 fr.

La traction électrique, si longtemps délaissée en Europe, commence à être discutée en France avec attention. La littérature technique suit un développement analogue. Il y a seulement un an on n'aurait pu trouver en France aucun livre consacré spécialement à cette branche des applications électriques. A présent nous en avons trois, et d'autres sont en préparation, paraît-il.

Les deux premiers ouvrages parus traitent la traction électrique, celui de M. Maréchal, d'une façon sommaire en vue de la vulgarisation, et celui de M. Tavernier au point de vue des résultats d'exploitation comparés à ceux de la traction funiculaire ou par chevaux. Avant l'apparition du livre de M. Dupuy il n'existait aucun ouvrage donnant une description complète et bien détaillée des divers systèmes et appareils de traction électrique.

Par malheur, dans la précipitation qu'il a mise à vouloir arriver bon premier, M. Dupuy a omis de revoir avec attention la première partie de son ouvrage, intitulée *Étude théorique*, écrite probablement un peu trop à la hâte. Sans être un fanatique de l'homogénéité, on ne peut admettre la grande confusion de termes qui règne dans tout ce chapitre : non seulement le travail et la puissance y sont souvent pris l'un pour l'autre, mais encore on y voit des efforts exprimés en kilogrammètres, c'est-à-dire des forces et des travaux confondus ensemble. On trouve en outre des erreurs inexplicables dans certaines formules de transition qui conduisent à des expressions finales exactes.

Il est vraiment regrettable que cette première partie, qui ne renferme pourtant que la théorie élémentaire de la traction, laisse tant à désirer. Mais il faut bien considérer que ce chapitre ne forme pas même le dixième de l'ouvrage, 40 pages sur 495, et constitue une sorte d'avant-propos tout à-fait accessoire, dont l'importance est bien faible en regard de la masse complète constituant le reste du volume. En effet, on ne consultera guère l'ouvrage pour y chercher par exemple la formule des efforts de traction en rampes ou en courbes, mais plutôt dans le but d'avoir des détails pratiques sur tel ou tel système de tramway. A ce point de vue nous n'hésitons pas à déclarer que le livre de M. Dupuy a une réelle valeur. Il renferme des documents abondants classés bien méthodiquement, et accompagnés d'illustrations et de nombreuses données numériques sur toutes les questions se rattachant à la traction électrique.

Dans toute la partie descriptive et documentaire on ne peut trouver matière qu'à de très légères critiques. L'auteur, comme il le dit lui-même, a évité consciencieusement de s'étendre sur des descriptions générales pour se borner à donner des renseignements précis sur des installations ou des appareils existants. La crainte du banal remplissage est même en certains points poussée un peu loin. Par exemple des explications plus détaillées sur les différents types d'éclissage électrique des rails et sur les modèles d'isolateurs pour fil de trôlet n'auraient pas été inutiles (surtout pour les gens paresseux qui n'aiment pas à tirer des déductions de la seule vue d'un dessin), car ce sont des points de construction peu connus même de beaucoup d'électriciens.

M. Dupuy a eu tort également, à notre avis, de céder à la manie fâcheuse qu'on a dans le monde des tramways électriques d'introduire sans raison des mots étrangers parfaitement inutiles. Nous admettons fort bien les mots anglais qui rendent des services en abrégeant le langage journalier comme *spot* et *feeder* qui ne pourraient être remplacés que par les longues expressions de « tache lumineuse ou image du réticule » et de « câble principal d'alimentation ». Mais à quoi bon aller chercher des mots anglais quand on a à sa disposition, pour désigner les choses, des mots français d'une signification tout à fait précise ? Pourquoi appeler *wattmann* l'homme chargé de la conduite des moteurs de tramways quand le terme *mécanicien* convient si bien ? Pourquoi, par imitation de l'anglais, appeler *contrôleur* l'appareil de manœuvre du mécanicien qu'il serait si commode de nommer *coupleur* ou *régulateur*, sans créer une confusion déplorable avec l'employé préposé aux stations de tramways ? M. Dupuy ne se contente pas de ces néologismes. Il emploie pour désigner le coupleur le mot hybride de *controlleur* et il adopte pour représenter l'appareil de protection placé à l'avant des tramways américain le terme de *fender* dont la prononciation écorchée sera beaucoup plus bizarre que le mot français de « ramasseur ».

Passons maintenant rapidement en revue les

divers chapitres de l'ouvrage, qui se divise en cinq parties : 1° courte partie théorique ; 2° description des divers systèmes de tramways électriques ; 3° exploitation des tramways ; 4° locomotives électriques proprement dites ; 5° applications diverses.

La partie descriptive est de beaucoup la plus importante, car elle occupe à elle seule 239 pages, c'est-à-dire la moitié du livre. Cette deuxième partie se divise en six chapitres. Le chapitre I montre les dispositions générales des dynamos et tableaux de distributions employés dans les stations génératrices. Le chapitre II donne la description des divers types de rails de tramways et le prix moyen d'établissement d'un kilomètre de voie de roulement. Le chapitre III est consacré aux divers systèmes permettant de transmettre le courant de la station aux voitures. On y trouve d'abord indiquée la disposition usitée d'une manière générale pour la pose des feeders, des isolateurs et du fil aérien de trôlet, puis l'étude des perturbations apportées par le courant de retour sur les lignes téléphoniques et sur les appareils de mesure rapprochés, avec les moyens de combattre ces divers effets nuisibles. L'auteur décrit, ensuite, avec figures à l'appui, un grand nombre de systèmes souterrains à petit caniveau : l'essai à blanc de la rue de Châteaudun, le système Siemens et Halske installé à Buda-Pesth, le système Holroyd Smith, installé à Blackpool, le système Love monté à New-York, Washington et Chicago, le système de la General Electric C° essayé à New-York, le système Waller-Mauville, puis le système souterrain à grand caniveau qui devait être installé de la place Cadet à Montmartre. Le chapitre III se termine par les systèmes à rails sectionnés : système électromagnétique Westinghouse installé à Washington, avec deux rangées de boutons, et une petite batterie d'accumulateurs, système électromagnétique Diatto en essai à Turin, avec une seule rangée de boutons et un électro-aimant, système Vuilleumier à distributeur automatique dont l'auteur donne seulement les dispositions générales, renvoyant le lecteur, pour l'application faite à Romainville, à la description publiée dans *L'Éclairage Électrique*.

Le chapitre IV est comme le chapitre III assez étendu. Il débute par les moteurs de tramways ; les appareils de couplage des moteurs, les dispositions des divers types de trucks, les modèles de trôlet à navette, à roulette, à archet et à genouillère y sont ensuite décrits en détail. On y trouve la description sommaire des appareils de freinage, d'éclairage et de chauffage, des appareils de sécurité ou ramasseurs ainsi que des chasse-neige, arroseuses et balayeuses électriques, puis quelques indications sur la marche et l'entretien des voitures et sur l'application des courants alternatifs polyphasés ou monophasés aux tramways électriques.

Dans le chapitre V, on établit le prix moyen du premier établissement d'un kilomètre de ligne aérienne à trôlet, en donnant ensuite comme exemple les dépenses faites sur une ligne aérienne de 4 km réellement construite.

Le chapitre VI a trait aux voitures automotrices où la traction est produite par des accumulateurs portés par le véhicule. L'auteur signale les essais d'accumulateurs à charge rapide sur la voiture même qui sont appliqués sur les tramways de la Madeleine à Neuilly et Levallois-Perret. Il fait une description complète des installations de tramways de Madeleine-Saint-Denis et Opéra-Saint-Denis par accumulateurs amovibles et s'étend assez longuement sur la récupération de l'énergie dans les pentes en citant les expériences faites par M. Sarcia sur la ligne Madeleine-Saint-Denis. Il donne le prix de premier établissement et le prix de revient de la traction par accumulateurs sur les deux lignes de Saint-Denis et sur la ligne de Bruxelles. Il parle en dernier lieu des systèmes mixtes, appliqués à Hanovre et à l'étude à Paris, dans lesquels le courant est fourni dans certaines parties de la ligne par le fil aérien du trôlet et dans d'autres parties par une batterie d'accumulateurs de moyenne importance placée sur les voitures d'une façon permanente ou à des points donnés.

La troisième partie, d'une étendue de 100 pages, relative à l'exploitation des tramways électriques, contient beaucoup de renseignements très utiles qu'il était auparavant très difficile de trouver et surtout de rassembler. Le chapitre I renferme la liste complète des tramways électriques fonctionnant en Europe au 1er janvier 1897. Il fait connaître le prix de revient de la traction électrique, c'est-à-dire les dépenses proprement dites par kilomètre-véhicule par fil aérien, par conducteur souterrain et par conducteur sectionné. dans plus d'une vingtaine d'installations de tramways d'Amérique et d'Europe.

Quoique les dépenses totales d'exploitation comprenant les charges du capital soient beau-

coup plus difficiles à connaitre que les simples prix de revient, on trouve pourtant dans le chapitre II le rendement financier d'un assez grand nombre d'installations américaines et des lignes de Dijon, Hambourg, Erfurt, Buda-Pesth.

La quatrième partie, qui compte 75 pages, est consacrée aux chemins de fer électriques. Le chapitre I contient la description sommaire des métropolitains électriques : City and South London C° à Londres; aérien de Liverpool ; souterrain de Buda-Pesth inauguré en 1896 ; dernier projet de métropolitain parisien. Le chapitre II est réservé aux locomotives électriques pour trains de grandes lignes. On y donne quelques renseignements accompagnés de figures sur les locomotives à trôlet du Baltimore and Ohio, de la General Electric C°, du système Sprague, sur les locomotives Westinghouse à contacts électro-magnétiques, sur les nouvelles locomotives automotrices Heilmann qui seront essayées très prochainement et enfin sur les projets non exécutés de trains à très grande vitesse de Buda-Pesth à Vienne et de New-York à Chicago.

La cinquième et dernière partie, d'une étendue de 35 pages, concernant les applications diverses de la traction électrique, est divisée en deux chapitres. Le chapitre I est l'un des plus intéressants de l'ouvrage, car il contient des données peu connues sur les essais de traction électriques sur canaux effectués récemment par la Compagnie Denèfle, au moyen de turbines fonctionnant par les écluses et de bachots propulseurs ou de chariots haleurs. L'installation récente et curieuse du tramway électrique à voie sous-marine de Brighton et le projet de bateaux automoteurs, basés sur le même principe que la locomotive Heilmann, y sont également signalés.

L'auteur termine l'ouvrage en décrivant (chapitre II) d'une façon sommaire et en représentant plusieurs types de locomotives minières à trôlet et trois modèles récents de voitures électriques légères à accumulateurs, construites en France.

On voit, par l'étendue un peu longue de cette analyse, pourtant bien succincte, que nous venons de faire, que les personnes qui s'intéressent à la question de la traction électrique, pourront trouver dans le livre de M. Dupuy un grand nombre de renseignements pratiques très utiles et portant sur les systèmes les plus récents. Ajoutons, pour finir, que l'ouvrage est abondamment illustré et que son exécution typographique est très soignée.

CH. JACQUIN.

L'aluminium : alliages, emplois récents, par A. MINET. I vol. in-16, 300 pages, 38 figures. *Bernard Tignol*, éditeur, 53 *bis*, quai des Grands-Augustins, Paris. Prix : 4.50 fr.

Ce volume est destiné à compléter un volume que l'auteur a fait paraitre l'an dernier sur l'aluminium. Dans un avant-propos sur l'état actuel des applications de l'électrochimie et des forces naturelles, M. Minet reproduit l'intéressante communication qu'il a faite à la section d'électrochimie du Congrès de chimie tenu à Paris en août dernier, communication analysée dans ce journal.

La première partie du volume est consacrée aux applications de l'aluminium et de ses alliages ; elle est divisée en trois chapitres. Dans le premier l'auteur passe en revue les divers objets en aluminium de fabrication récente : cartes de visites, brosses, plaques lithographiques, ustensiles de cuisine, malles, etc. ; dans le second il décrit les chaloupes, yachts, torpilleurs construits en aluminium ; enfin dans le dernier il s'occupe des applications chimiques de l'aluminium, particulièrement celles où il est employé comme agent d'affinage.

Dans la deuxième partie, M. Minet traite des alliages de l'aluminium, qu'il divise en alliages légers (dans lesquels il fait rentrer l'aluminium pur), alliages de densité moyenne et alliages lourds. Après un chapitre de généralités sur le travail de l'aluminium et de ses alliages, l'auteur aborde, dans trois autres chapitres successifs, les préparations, propriétés et méthodes d'analyse de ces divers alliages. Ces chapitres sont fort bien documentés; en particulier la façon dont l'aluminium se comporte dans l'eau de mer est étudiée minutieusement d'après les observations faites sur la coque du torpilleur *la Foudre* et du yacht de plaisance *le Vendenesse*.

M. Minet était d'ailleurs mieux placé que tout autre pour écrire un ouvrage de ce genre. Dès l'origine de la fabrication électrochimique de l'aluminium, il s'est, comme les lecteurs de *La Lumière Électrique* doivent se le rappeler, occupé tout particulièrement d'en améliorer le rendement. Il devait donc faire, et il a fait, un livre intéressant.

J.-B.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

ANACONDA. — *Traction dans les mines.* — Deux petites locomotives, système Hermann Thoferhn, ont, nous dit *Engineering and Mining Journal*, été récemment construites par la General Electric Company pour le compte de la Anaconda Gopper Mining C° et mises en service dans les mines que possède cette Compagnie à Anaconda. Chacune d'elles a à peine 1,80 m de long et peut passer dans une galerie de 1,20 m de haut sur 0,90 m de large; les roues ont 0,35 de diamètre et roulent sur une voie de 0,50 m d'écartement. L'effort de traction que peut développer chacune de ces minuscules locomotives est d'environ 485 kg. Les moteurs dont elles sont pourvues sont protégés de tout choc par une enveloppe d'acier qui constitue le revêtement de la locomotive tout entière. Les organes de manœuvre sont placés sur une étroite plate-forme ménagée aux extrémités et où se trouve un strapontin servant de siège au conducteur-mécanicien. La prise de courant s'opère à l'aide du trôlet et fil aérien; ce dernier est branché sur les circuits d'éclairage à 120 volts. Ce procédé d'alimentation des moteurs avec du courant à basse tension diminue notablement les risques d'incendie résultant de leur emploi à la traction dans les galeries boisées des mines.

FORT-WILLIAM (*Écosse*). — *Station hydraulique.* — Les touristes, qui, chaque année, viennent visiter les régions pittoresques des environs de Fort-William, petite ville du comté d'Inverness, dans l'ouest de l'Écosse, et faire l'ascension du Ben Nevis, le mont le plus élevé de tout le Royaume-Uni, auront, l'été prochain, la satisfaction de voir leurs hôtels et les rues de la ville éclairés à l'électricité.

L'énergie électrique est fournie par une station centrale qui emprunte la puissance motrice d'un torrent, le Kiachnisk, à 4 km de Fort-William. Le barrage construit à environ 1 400 m en amont de l'usine, dérive les eaux du torrent dans un canal ouvert qui aboutit à un réservoir maçonné d'où part la conduite qui distribue l'eau aux turbines de l'usine. La chute obtenue est de 37 m, ce qui pour un débit ordinaire permet d'obtenir une puissance de 120 chevaux sur l'axe des deux turbines. Ces dernières, du type Vortex, entraînent chacune une dynamo Scott à la vitesse de 600 tours par minute. L'induit de ces dynamos est constitué de deux enroulements ayant chacun leur collecteur respectif; sur l'un d'eux, le plus petit, on recueille du courant à 120 volts et 12 ampères qui sert à l'excitation des inducteurs et à l'éclairage intérieur de l'usine ; sur l'autre, on reçoit le courant principal à 500 volts et 90 ampères qui est transmis par une ligne aérienne à la sous-station de Fort-William. Cette sous-station est le point de départ des feeders qui alimentent le réseau à trois fils établi partie aérien, partie souterrain dans les rues de la ville. Une batterie d'accumulateurs E. P. S. de 164 éléments est chargée pendant le jour et aux heures de faible charge et déchargée la nuit en parallèle avec le courant principal convenablement transformé.

L'énergie électrique est vendue au compteur et d'après le tarif spécial dit de Norwich, établi comme il suit: de la tombée de la nuit à neuf heures du soir, l'énergie est taxée à raison de 0,80 fr le kilowatt et de cette heure au coucher du soleil du jour suivant elle n'est taxée que 0,45 fr le kilowatt.

Les lampes actuellement raccordées équivalent à environ 3 000 lampes de 16 bougies. L'éclairage public est réalisé à l'aide de lampes de 32 ou de 16 bougies supportées par les anciens réverbères à gaz auxquels on a ajouté des supports décoratifs.

Les installations ont été terminées en automne dernier, la distribution d'énergie a commencé presque aussitôt et a fonctionné tout l'hiver d'une façon satisfaisante quant au matériel générateur. Le débit de la rivière n'a nullement varié comme on l'avait craint tout d'abord, et la marche des turbines s'est maintenue suffisamment régulière pendant toute la mauvaise saison.

NEW-HAVEN. — *Locomotive électrique.* — Depuis le 11 décembre dernier, une locomotive électrique est employée à New-Haven (Connecticut) pour la manœuvre des wagons à marchandise aiguillés dans les usines longeant la voie du New-York, New-Haven and Hartford Railroad. Cette locomotive a été achetée par les propriétaires des usines auxquels appartiennent aussi la voie latérale et les

embranchements nécessaires au service. Jusqu'à présent, les wagons étaient pris sur les voies du chemin de fer et remorqués dans l'intérieur des usines par des chevaux ; les manœuvres étaient très longues et coûteuses. D'autre part on ne pouvait songer à employer des locomotives à vapeur parce que la voie suit sur une certaine longueur une rue très fréquentée de la ville et que, le service étant intermittent, la consommation de charbon eût été excessive. La locomotive électrique a donné pleine satisfaction. C'est une locomotive de 30 tonnes de la General Electric Company, dont les caractéristiques sont les suivantes :

Poids	26 500 kg.
Effort de traction normal. . . .	3 200 »
Longueur totale	5,00 m.
Hauteur »	3,50 »
Largeur »	2,50 »
Empattement des roues	1,67 »
Diamètre »	1,12 »
Nombre »	4
Écartement »	1,42 »
Volts	500 volts.
Ampères, pleine vitesse, effort normal	600 amp.
Ampères, mi-vitesse, effort normal	300 »

La longueur de la voie est d'environ 3 km ; elle comporte de nombreux aiguillages pour pénétrer dans les usines, des courbes de faible rayon et des rampes de 2,5 cm par mètre. Elle peut remorquer deux wagons chargés à la vitesse de 11 km-heure sur la rampe maxima ; elle a pu démarrer 6 wagons chargés sur la rampe maxima avec une consommation, de 150 ampères seulement et 7 wagons chargés sur une courbe de 15 m de rayon. Les démarrages sont très doux.

Le courant est acheté à la station centrale de Fair-Haven et Westville, qui est située vers le milieu de la ligne ; les conducteurs sont aériens et supportés par des potences.

Tacoma (*Washington*). — *Transport de force*. — Notre confrère *The Electrical Engineer*, de New-York, nous apprend qu'une intéressante application de l'électricité au déchargement des navires vient d'être réalisée par MM. Cabe et Hamilton, de Tacoma. Ce port est fréquemment visité par des navires chargés de grains, farines, etc., en sacs qu'il importe de transborder promptement à terre. Les grues et treuils à vapeur des navires suffisent largement à les extraire de la cale, c'est leur transport du bateau au quai ou au wagon qui demande le plus de temps. Le dispositif que les inventeurs ont conçu et mis en service, remplit admirablement les fonctions de transbordeur. Il se compose d'une passerelle sur laquelle est installé un moteur électrique qui entraîne par courroie une forte toile sans fin tendue entre les deux extrémités de la passerelle. Cette toile, en passant sur une série de rouleaux échelonnés à des distances d'un mètre environ entre les deux traverses longitudinales, entraîne les sacs du pont du navire jusqu'au quai ou même dans les wagons où ils sont immédiatement empilés. De cette façon, le déchargement s'opère d'une façon ininterrompue et à peu de frais; le moteur électrique n'est que de 2 chevaux, son emploi permet de récupérer largement ses frais d'alimentation et d'entretien.

On a pu, avec deux transbordeurs de ce genre, vider la cale d'un navire de 2 500 tonnes en 24 heures.

Tonawanda (*États-Unis*). — *Transport de force dans les ateliers*. — Une intéressante application de l'énergie électrique à la commande des machines-outils, vient, nous dit *The Electrical Engineer*, de New-York, d'être réalisée avec un plein succès dans la grande manufacture d'écrous et de vis filetées de MM. Plumb et Cie, Tonawanda. Les installations ont été faites en prévision d'être un jour à venir susceptibles de recevoir l'énergie de la puissante station du Niagara, dès que celle-ci aura établi et sera en mesure d'alimenter la ligne que l'on doit installer pour distribuer l'énergie à Tonawanda. Actuellement les moteurs triphasés en service dans les ateliers sont alimentés par le courant d'un alternateur de la General Electric C° d'une puissance de 150 kilowatts commandé par un moteur à vapeur Green de 400 chevaux. Le courant d'excitation est fourni par une petit dynamo bipolaire de 3 kilowatts, à 125 volts, entraînée indirectement par l'alternateur. Un tableau de distribution muni des appareils usuels pour courants triphasés complète la station primaire. Le courant est réparti dans les divers ateliers par des feeders sur lesquels sont branchés les moteurs de puissances variant de 6 à 20 chevaux. Ces moteurs se répartissent comme il suit : atelier des forges et de découpage, 5 moteurs de 20 chevaux dont quatre entraînant chacun un arbre de transmission et le cinquième actionnant le ventilateur des forges ;

ateliers de poinçonnage et de réparation de machines, 2 moteurs de 20 chevaux ; ateliers de finissage, 6 moteurs de six chevaux et 3 de 20 chevaux. Trois autres moteurs de 20 chevaux chacun sont affectés à différents travaux dans l'usine. La disposition adoptée pour les commandes de transmissions est très simple et peu encombrante ; les moteurs électriques sont pour la plupart disposés sur une plate-forme accessible, attenant au plafond des ateliers, placée parallèlement entre deux lignes d'arbres. Les courroies sont tendues horizontalement de côté et d'autre et comme elles se trouvent à une très grande hauteur les accidents sont peu à craindre.

Dès que la station du Niagara pourra fournir l'énergie électrique on greffera sur les barres du tableau les transformateurs statiques qui remplaceront l'alternateur en service, seule modification que l'installation aura, du reste, à subir.

VIENNE (*Autriche*). — *Traction*. — Un fait d'une importance très considérable par ses conséquences, s'est produit récemment à Vienne : c'est l'introduction de la traction électrique à fil aérien dans une des voies les plus fréquentées de la ville.

Cette ligne, qui est désignée sous le nom de *Ligne transversale de la Compagnie des Tramways de Vienne*, a été inaugurée le 28 janvier dernier.

A l'exception de quelques essais isolés de traction avec l'accumulateur des types de Waddel-Entz et de Hagen, ceci constitue le premier tramway électrique moderne en exploitation à Vienne.

La ligne est à double voie et a 10 km de longueur. Elle commence au pont du Prince-Rodolphe, sur le Danube, et suit la rue du Chemin-de-Fer-Nord et passe à travers les rues de Wallenstein, Nussdorfer, Spital, Scoda et Kaiser jusqu'à Mariahiferlinie. En ce point, elle emprunte la route au Wall jusqu'à la rue Gumpendorfer.

Cette ligne représente environ un huitième du réseau total de la Compagnie des Tramways de Vienne.

Elle a été installée par l'Union qui exploite en Allemagne et en Autriche les procédés Thomson-Houston. L'installation complète a été effectuée en quelques mois, quoiqu'on ait rencontré des difficultés très considérables.

L'énergie électrique est fournie par une Compagnie locale, et le courant est amené au fil de trôlet en trois points différents par des feeders armés. On a fait usage, tantôt de poteaux disposés de chaque côté de la rue, tantôt de rosaces fixées sur la façade des maisons.

Tous les kilomètres environ, on a disposé des parafoudres et des interrupteurs de section, de façon à limiter sur une faible distance les arrêts qui pourraient se produire.

Les voitures automobiles sont au nombre de trente-cinq, munies de deux moteurs type G E 800.

La Compagnie est si confiante en la réussite de cette ligne qui traverse les quartiers les plus mouvementés de la ville, qu'elle a accepté de l'établir avec une concession provisoire de deux ans, en prenant à sa charge tous les frais d'installation et de remise en état de la voie, si au bout de ce temps la municipalité ne voulait pas continuer l'exploitation de ce genre de traction.

A l'expiration de cette durée d'option, la Compagnie appliquera la traction à fil aérien sur tout son réseau, et transformera ses 661 voitures et ses 100 wagons en voitures électriques.

DIVERS

L'emploi de fils nus dans les bobines de résistance. — M. F.-W. Burstall construit des boîtes de résistances dans lesquelles les bobines sont constituées par des spirales en platinoïd dépourvues d'iso lant et noyées dans une huile lourde d'hydrocarbures. D'après l'auteur, ce mode de construction présente les avantages suivants : de pouvoir aisément mesurer la température des fils et de diminuer l'échauffement dans ces fils par suite de l'absence d'enveloppe isolante autour d'eux ; de plus, ce qui est peut-être le plus important, il permet d'obtenir, en amenant les fils au rouge par le passage d'un courant intense, des spirales parfaites, à quoi l'on ne peut arriver en employant un fil recouvert ; or, d'après le Dr Lindeck et autres, les bobines formées de spires très régulières seraient beaucoup moins susceptibles d'altération que d'autres mal enroulées.

Un pont de Wheatstone a été construit d'après ces principes. La bobine de 1 ohm (fil de 0,63 mm) est enroulée comme il vient d'être dit, sur une lame de mica à bords entaillés, maintenue par des vis au fond de la boîte et à la partie inférieure du couvercle. Les spires de la bobine sont engagées dans les entailles sans que leur régularité en souffre ; les connexions sont établies comme dans les autres modèles.

Les autres bobines, de 10 à 1000 ohms sont enroulées autour d'une carcasse formée d'une tige verticale sur laquelle sont enfilées de nombreuses bandes de mica; les fils sont enroulés bifilairement entre ces bandes et on serre le tout à l'aide d'un croisillon et d'une vis de pression portée par l'extrémité de la tige support. La boîte, rendue étanche, est remplie d'huile lourde.

Dans la construction des résistances étalons, l'auteur assujettit l'extrémité des bandes de mica dans les pinces d'un tendeur à vis pour prévenir tout gondolement anormal de celles-ci.

On mesure la température des fils en plaçant un thermomètre dans l'espace laissé libre dans l'intérieur des bobines.

Système de trôlet permettant de réaliser une ligne à double voie avec un seul fil aérien. — Ce système, que vient d'imaginer M. John. C. Henry, de Denver (Col.), rappelle la forme des trôlets à contacts glissants de Siemens; mais, au lieu d'être monté à la façon des trôlets ordinaires, le contact est fixé à l'extrémité d'un bras horizontal formant avec la perche un angle droit et vient appuyer contre le fil aérien disposé au milieu des deux voies. La perche est mobile à sa base, de façon à pouvoir changer la position du frotteur, soit à droite, soit à gauche. Avec cette disposition un seul fil aérien peut suffire pour une double voie. C'est, du reste, le seul avantage qui puisse en résulter, le nombre des pylones restant sensiblement le même qu'avec deux fils aériens, et les attaches et supports du fil devenant plus compliqués.

Éclairage électrique des trains système Moscovitch. — Une nouvelle disposition pour l'éclairage électrique des trains, due à M. Moscovitch, est en ce moment en service sur la ligne de New-York-Philadelphie. Chacun des wagons est pourvu de deux batteries d'accumulateurs du poids de 350 kg chacun et d'un tableau de distribution. De ces deux batteries l'une est en charge pendant que l'autre alimente les lampes de l'éclairage. La dynamo, placée entre les deux essieux d'un wagon est entraînée par des courroies et ne fournit aucun courant avant que la vitesse du train ait atteint 13 km à l'heure. Les charges et décharges alternées des deux batteries s'opèrent automatiquement. De plus un commutateur automatique adapté aux inducteurs de la dynamo en renverse la polarité dès que le wagon change de marche.

Lampe à incandescence à régulateur. — Un nouveau système de lampes à incandescence à régulateur d'intensité lumineuse, vient, nous dit *The Electrical World*, d'être mis sur le marché américain par des fabricants de East Liverpool (O.), MM. Brunt et Thompson.

Ces lampes sont construites pour 110 volts et ont une intensité normale de 16 bougies. A l'aide d'un rhéostat faisant partie du culot et une manette de réglage, on peut faire varier l'intensité lumineuse dans toutes les limites comprises entre 2 et 16 bougies. Les essais qui ont été effectués sur ces lampes par différentes compagnies d'éclairage ont donné, parait-il, de très bons résultats; l'économie résultant de la facilité de diminuer leur intensité atteindrait 40 p. 100. Avant d'être mises en vente un certain nombre d'entre elles ont été soumises à un essai de longue durée qui consistait à les maintenir allumées chacune pendant environ 300 heures sous tous les degrés d'intensités susceptibles d'être obtenus.

Les rayons X et les aveugles. — Dans une longue conférence qu'il a faite au meeting de la Northwestern Electrical Association, M. C.-P. Haskins expliquant les phénomènes de Rœntgen et leurs applications médicales, dit, en concluant, qu'à son avis il est peu probable que les rayons X puissent jamais rendre la vue aux aveugles. Les cas que l'on a signalés comme étant contraires à cette assertion peuvent s'expliquer par le fait que, chez les sujets soumis aux expériences, le nerf optique n'était pas complètement mort ou même disparu, mais sans doute affecté que d'une sorte d'atrophie ou paralysie comme chez le sujet, aveugle depuis deux ans, sur lequel l'auteur a répété les expériences connues. Le sujet, placé devant un tube de Crookes, a pu décrire la forme de ce tube alors qu'autrement il ne percevait aucune sensation lorsqu'on déplaçait une lampe à arc à faible distance de ses yeux.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XI. Samedi 3 Avril 1897. 4e Année. — N° 15.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

THÉORIE D'UN ALTERNATEUR AUTO-EXCITATEUR

Dans tous les alternateurs, la production d'un champ magnétique de direction constante exige soit une machine auxiliaire à courant constant ou redressé, soit une prise de courant redressé sur l'anneau induit. — Je me suis proposé d'examiner s'il est possible d'imaginer un appareil sans commutateur ni contact glissant qui par sa seule mise en marche avec une vitesse comprise entre certaines limites donne naissance à un courant alternatif, et d'étudier la loi exacte d'accroissement de ce courant alternatif. Diverses recherches plus spécialement physiques m'ont détourné de la réalisation de la machine à laquelle j'étais arrivé, il y a trois ans (avril-juin 1894), machine d'ailleurs très encombrante pour peu de puissance. Ne sachant plus quand je m'y remettrai, je me décide à publier la théorie telle quelle.

Cette théorie d'ailleurs présente un intérêt particulier pour les électriciens; elle offre un exemple d'un mode de discussion détaillé — presque inabordable sur les équations littérales, très facile et pas très long sur les équations numériques — des propriétés d'une machine alternative particulière. Bien certainement, la théorie actuelle, si élégante d'ailleurs, des courants sinusoïdaux n'est qu'une première approximation, suffisante dans l'étude des propriétés générales des courants alternatifs simples ou polyphasés, mais insuffisante pour l'étude de certaines particularités et en particulier pour la discussion complète des projets de machines. La même théorie s'applique à l'étude des microphones à résistance variable [1], et à bien d'autres phénomènes physiques, tels que la mise en mouvement d'une balançoire partant du repos.

I. — THÉORIE

Rappelons d'abord les principes de la théorie des équations linéaires à coefficients périodiques (Mémoire de M. Floquet), en les appliquant à une équation du second ordre

$$\frac{\partial^2 z}{\partial t^2} + P(t)\frac{\partial z}{\partial t} + \mathcal{Q}(t) = 0,$$

P et $\mathcal{Q}$ étant deux fonctions de même période T.

Si on connaît une intégrale $Z_1 = F(t)$, la fonction $Z_2 = F(t + T)$ est une autre intégrale, et l'intégrale générale est :

$$z = AF(t) + BF(t + T).$$

En particulier on peut choisir les constantes A et B de telle sorte que :

$$z(t + T) = \lambda z(t) = \lambda[AF(t) + BF(t + T)],$$

(1) Voir un mémoire de Lord Rayleigh (*Phil. Mag.*, 1887). Lord Rayleigh y indique dans une courte note la possibilité de l'amorçage spontané d'une machine à condensateur analogue à celle dont l'étude numérique fait l'objet de l'article actuel.

λ étant une *constante*, réelle ou imaginaire. — Ce choix peut être fait de deux manières différentes pour une équation du second ordre (de n manières différentes pour l'équation d'ordre n). On peut donc mettre l'intégrale générale sous la forme :

$$\gamma = a\varepsilon^{\alpha t}\,\Pi_1(t) + b\varepsilon^{\beta t}\,\Pi_2(t),$$

Π_1, Π_2 étant deux fonctions périodiques, de même période T que P et $\mathfrak{L}$; a, b, deux constantes arbitraires, α et β étant déterminés par

$$\varepsilon^{\alpha T} = \lambda_1 \qquad \varepsilon^{\beta T} = \lambda_2,$$

α et β sont deux constantes réelles ou imaginaires, suivant l'équation.

Quand ces deux constantes sont exclusivement imaginaires les solutions mises sous forme réelle sont formées d'une somme de termes périodiques, dont la période est différente de T. L'état défini par l'équation est un état oscillatoire permanent d'amplitude moyenne fixe. Lorsque les exposants ont des parties réelles négatives, l'état est un état oscillant amorti.

Enfin lorsque l'un des exposants a une partie réelle positive, il existe des états initiaux qui conduisent à des oscillations d'amplitude indéfiniment croissante. La machine dont l'équation exprime les propriétés s'amorcera alors d'elle-même; bien entendu, sa marche absorbant alors de l'énergie en quantité croissant indéfiniment avec le temps si la période T se maintenait fixe, la résistance opposée au moteur source de puissance, le ralentira, et allongera la période T.

Deux cas pourront alors se produire.

1° Le ralentissement, en allongeant la période, augmente la partie réelle positive de l'exposant α ou β. L'accroissement relatif de l'absorption d'énergie par tour augmente; la machine évidemment n'y peut pas suffire, et se ralentit encore plus; elle finira par se caler, à moins qu'on n'approche du second cas, et qu'on n'y arrive.

2° Le ralentissement diminue la partie réelle positive de l'exposant; l'accroissement d'absorption d'énergie par tour est moindre pour la vitesse diminuée. Le mouvement se ralentit progressivement, finit par se fixer à la vitesse pour laquelle l'exposant n'a pas de partie réelle positive; la marche de la machine est alors périodique, à amplitude moyenne fixe; cette amplitude moyenne s'est d'ailleurs réglée d'elle-même, grâce à l'amorçage antérieur de manière à absorber exactement toute l'énergie que le moteur fournit à chaque tour.

La marche est stable si par accroissement de la fréquence on atteint les régions d'amorçage spontané.

Le moteur doit donc pouvoir atteindre une vitesse supérieure à sa vitesse de régime; il ne doit pas avoir de régulateur de vitesse; la machine électrique ayant une vitesse de régime rigoureusement déterminée par construction, tout régulateur en désaccord serait très nuisible et amènerait des à-coups violents; d'accord, il serait inutile.

Pour la marche régulière, il serait en même temps important que la partie imaginaire de l'exposant, celle qui change la période soit rigoureusement nulle ou multiple ou sous-multiple très simple de la période T de régime. Sans cela le mouvement aura des ocillations à longue période — comme des battements sonores — évidemment à éviter.

Toutes les propriétés de l'appareil sont ainsi commandées par la valeur de ces exposants α et β. — Les mathématiciens n'indiquent aucune méthode directe pour les calculer, en partant des fonctions P et $\mathfrak{L}$; et ce n'est pas faute d'y avoir consacré leurs efforts, car la question a une importance capitale en mécanique céleste; toutes les questions dites de stabilité du système solaire se ramenant à la discussion d'équations de ce genre. Le développement en séries devient impraticable ou tout à fait incertain dès que les parties périodiques des coefficients P, $\mathfrak{L}$ ne sont pas très petites.

La méthode de principe de la théorie générale est d'une très facile application aux équations numériques; le voici :

De ce que nous avons dit plus haut, il résulte que si l'on a déterminé par un moyen quelconque, — développement en série — calcul numérique — les valeurs d'une intégrale $F(t)$, partant de valeurs initiales données quelconques, on a la solution générale en prenant

$$z = AF(t) + BF(t + T).$$

En particulier, il suffit de connaître la fonction F dans un intervalle d'un peu plus de deux périodes, ou de deux périodes à la condition de connaître aussi la dérivée dans cet intervalle ;

La fonction $F(t + 2T)$ étant elle-même une intégrale on a

$$F(t + 2T) = A_1 F(t) + B_1 F(t + T),$$

et pour calculer les constantes particulières A_1, B_1, on prendra les deux équations particulières

$$F(2T) = A_1 F(o) + B_1 F(T)$$
$$F'(2T) = A_1 F'(o) + B_1 F'(T).$$

Une fois ces deux constantes déterminées, le calcul de F pour une valeur quelconque t se poursuivra très simplement de proche en proche au moyen des valeurs de F des deux périodes immédiatement précédentes.

$$A_1 = \frac{F(2T)\,F'(T) - F'(2T)\,F(T)}{F(o)\,F'(T) - F'(o)\,F(T)}$$

$$B_1 = -\frac{F(2T)\,F'(o) - F'(2T)\,F(o)}{F(o)\,F'(T) - F'(o)\,F(T)}.$$

d'où :

$$F(t + 2T) = \frac{(F_2F'_1 - F'_2F_1)\,F(t) - (F_2F'_0 - F'_2F_0)\,F(t + T)}{F_0F'_1 - F'_0F_1}.$$

En particulier :

$$F(3T) = \frac{(F_2F'_1 - F'_2F_1)\,F_1 - (F_2F'_0 - F'_2F_0)\,F_2}{F_0F'_1 - F'_0F_1},$$

Cela posé, il s'agit de reconnaître le caractère de la solution, en calculant les deux facteurs λ_1, λ_2, et formant les deux fonctions périodiques Π_1 et Π_2 au moyen de F. On a par un choix convenable de a, b :

$$\varepsilon^{\alpha t}\,\Pi_1(t) = aF(t) + bF(t + T).$$

Donc en particulier, Π_1 étant périodique,

$$\Pi_1(o) = aF(o) + bF(T)$$
$$\varepsilon^{\alpha T}\,\Pi_1(o) = aF(T) + bF(2T)$$
$$\varepsilon^{2\alpha T}\,\Pi_1(o) = aF(2T) + bF(3T).$$

Éliminant a, b, Π_1, on aura pour déterminer $\varepsilon^{\alpha T}$ ou λ l'équation

$$\begin{vmatrix} \lambda^2 & F_2 & F_3 \\ \lambda & F_1 & F_2 \\ 1 & F_0 & F_1 \end{vmatrix} = o,$$

ou

$$\lambda^2(F_1^2 - F_0F_2) + \lambda(F_0F_3 - F_1F_2) + (F_2^2 - F_1F_3) = o,$$

équation qui a pour racines les deux valeurs λ_1, λ_2.

On a ensuite

$$\alpha = \frac{1}{T}\log \text{nép}\,(\lambda).$$

Si λ est imaginaire, ou a sa partie réelle négative, posons

$$\lambda = m + n\sqrt{-1}$$

$$\alpha = \frac{1}{T}\left[\frac{1}{2}\log \text{nép}\,(m^2 + n^2) + \sqrt{-1}\,\text{arc tg}\left(\frac{n}{m}\right)\right],$$

et

$$\varepsilon^{\alpha t} = \varepsilon^{\frac{t}{2T}\log \text{nép}(m^2+n^2)}\left[\cos\left(\frac{t}{T}\,\text{arc tg}\,\frac{n}{m}\right) + \sqrt{-1}\,\sin\left(\frac{t}{T}\,\text{arc tg}\,\frac{n}{m}\right)\right]\Pi_1(t).$$

Si on se contente de savoir le sens général du phénomène, la machine s'amorce spontanément si le carré du module : $m^2 + n^2$ de λ est plus grand que 1, elle se désamorce s'il est plus petit que 1. Outre le coefficient exponentiel pur, les fonctions Π_1, Π_2, de période T, sont affectées d'un coefficient d'amplitude périodique indépendant, si n est différent de zéro, ou même si n étant nul, m est négatif, arc tang $\frac{n}{m}$ n'étant pas nul.

II. — APPLICATION — ALTERNATEUR AUTO-EXCITATEUR A GRANDE FRÉQUENCE

Considérons un circuit de résistance R constante et de coefficient de self-induction L

constant, mais dont la capacité C se déforme périodiquement :

$$C = a + b \sin \theta.$$

L'équation du mouvement de l'électricité dans le circuit est

$$\frac{L\partial^2 q}{\partial t^2} + \frac{R\partial q}{\partial t} + \frac{q}{C} = 0.$$

Pour le calcul numérique, divisons la période en 24 parties égales, et posons

$$\theta = 2\,\omega t = \frac{\varphi}{24} 2\pi = \frac{\pi}{12}.\varphi.$$

on a

$$\frac{\partial}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \varphi} \times \frac{24\,\omega}{\pi} = \frac{\partial}{\partial \varphi} \times 24\,N$$

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} = \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \times (24)^2 N^2.$$

La vitesse angulaire est reliée au nombre N de périodes de la capacité C en 1 seconde par l'équation

$$\frac{\omega}{\pi} = N.$$

Désignons par un accent les dérivées par rapport à φ, il vient

$$(24)^2 N^2 L q'' + R q'.24\,N. + \frac{q}{a + b \sin \frac{2\pi\varphi}{24}} = 0,$$

ou

$$q'' + q'.\frac{R}{L}.\frac{1}{24\,N} + \frac{q}{(24)^2 N^2 \left(a + b \sin \frac{2\pi\varphi}{24}\right) L} = 0.$$

Choisissons pour décider quelle est la plus petite vitesse au voisinage de laquelle l'amorçage soit spontané et avec quelle rapidité l'amorçage se fait, les valeurs numériques suivantes, qui sont parfaitement réalisables avec une assez grosse bobine à fil fin et un condensateur à secteurs alternativement pleins et vides l'un fixe, l'autre tournant dans son plan à petite distance du premier.

$$\frac{R}{L} = 0{,}96 \qquad La = 1{,}5\,10^{-6} \qquad Lb = 10^{-6}.$$

La loi de variation de la capacité en fonction de φ est représentée par la courbe ci-jointe (fig. 1).

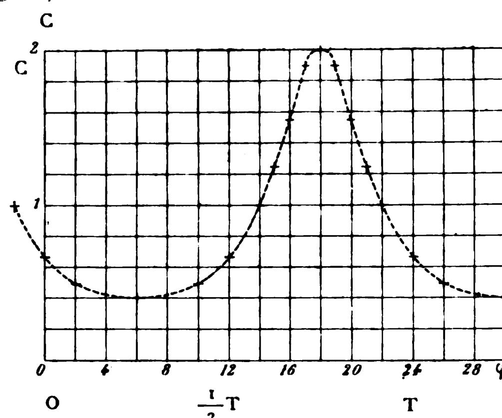


Fig. 1.

Cette figure, construite d'après la troisième colonne du tableau I, diffère beaucoup d'une sinusoïde qui aurait même maximum et même minimum. Elle est bien représentée par la formule

$$0{,}857 - 0{,}571 \sin \frac{\varphi}{24} - 0{,}190 \cos \frac{\varphi}{24},$$

le terme de fréquence double ayant un retard $\frac{T}{4}$, et une amplitude qui atteint *le tiers* de celle du terme principal.

Pour nous faire une idée du nombre de tours à atteindre, cherchons les périodes propres du circuit immobile pour diverses positions d'arrêt du condensateur :

$\varphi =$	0	6	12	18
$N =$	130	100	130	225.

Cet examen préliminaire ayant montré que le nombre N d'alternances doit être compté par centaines, posons aussi

$$N = 200\,n;$$

l'équation dont il s'agit de faire l'intégration numérique devient

$$q'' + \frac{2.10^{-4}}{n} q' + \frac{0{,}4348}{n^2} \frac{q}{1{,}5 + \sin \frac{2\pi\varphi}{24}} = 0.$$

On sait que c'est vers le double de la va-

leur moyenne de la fréquence propre du système arrêté dans diverses positions que se produit la meilleure résonance. — Ce sera donc ici vers N = 300, ou $n = 1{,}5$.

Formons d'abord un tableau auxiliaire qui nous donne les valeurs du coefficient de q dans l'équation pour diverses valeurs de N, 100, 150..., 400.

TABLEAU I. TABLEAU DES VALEURS DU COEFFICIENT DE q.

θ	φ	$\frac{1}{1{,}5+\sin\left(\frac{\varphi}{24}\right)}$	N = 100 $n = 0{,}5$ $\frac{1}{n^2} = 4$	N = 150 $n = \frac{3}{4}$ $\frac{1}{n^2} = 1{,}77$	N = 200 $n = 1$ $\frac{1}{n^2} = 1$	N = 250 $n = 1{,}25$ $\frac{1}{n^2} = 0{,}64$	N = 300 $n = 1{,}5$ $\frac{1}{n^2} = 0{,}445$	N = 350 $n = 1{,}75$ $\frac{1}{n^2} = 0{,}327$	N = 400 $n = 2$ $\frac{1}{n^2} = \frac{1}{4}$
	0	0,667	0,1163	0,0515	0,0291	0,01862	0,01294	0,00952	0,00728
	1	0,568	0,0988	0,0437	0,0247	0,01582	0,01099	0,00809	0,00618
	2	0,500	0,0867	0,0384	0,0217	0,0139	0,00967	0,0071	0,00543
	3	0,440	0,0764	0,0338	0,0191	0,01221	0,00850	0,00625	0,00478
	4	0,422	0,0736	0,0326	0,0184	0,01178	0,0082	0,00602	0,00460
	5	0,405	0,0704	0,0312	0,0176	0,01127	0,00784	0,00575	0,00440
90°	6	0,400	0,0696	0,0308	0,0174	0,01113	0,00775	0,0057	0,00435
	7	0,405	0,0704	0,0312	0,0176	0,01127	0,00784	0,00575	0,00440
	8	0,422	0,0736	0,0326	0,0184	0,01178	0,0082	0,00602	0,00460
	9	0,440	0,0764	0,0338	0,0191	0,01221	0,0085	0,00625	0,00478
	10	0,500	0,0867	0,0384	0,0217	0,0139	0,00967	0,0071	0,00543
	11	0,568	0,0988	0,0437	0,0247	0,01582	0,01099	0,00809	0,00618
180°	12	0,667	0,1163	0,0515	0,0291	0,01862	0,01294	0,00952	0,00728
	13	0,805	0,140	0,0620	0,0350	0,0224	0,01557	0,01145	0,00875
	14	1,000	0,174	0,0753	0,0435	0,02782	0,01933	0,0142	0,01085
	15	1,26	0,219	0,0970	0,0548	0,0351	0,0244	0,0179	0,01365
	16	1,55	0,260	0,1192	0,0675	0,0432	0,0300	0,02205	0,01682
	17	1,89	0,329	0,1455	0,0822	0,0526	0,0366	0,00269	0,02050
270°	18	2,00	0,348	0,1540	0,0870	0,0556	0,0386	0,0284	0,02170
	19	1,89	0,329	0,1455	0,0822	0,0526	0,0366	0,0269	0,02050
	20	1,55	0,260	0,1192	0,0675	0,0432	0,0300	0,02205	0,01682
	21	1,26	0,219	0,0970	0,0548	0,0351	0,0244	0,0179	0,01365
	22	1,000	0,174	0,0753	0,0435	0,02782	0,01933	0,0142	0,01085
	23	0,805	0,140	0,0620	0,0350	0,0224	0,01557	0,01145	0,00875
360°	24	0,667	0,1163	0,0515	0,0291	0,01862	0,01294	0,00952	0,00728

Avec la valeur choisie pour la résistance, le coefficient de q' est négligeable. Il le serait encore, et l'équation serait sensiblement la même si la résistance R était 5 ou 10 fois

plus grande, pourvu que le coefficient L reste le même, ce qui rendrait la bobine de self-induction moins encombrante, sa constante de temps $\frac{L}{R}$ étant diminuée.

D'ailleurs, la transformation générale connue

$$q = Q\varepsilon^{-\int \frac{R}{2L} dt}, \qquad (2)$$

fait disparaître le terme en q' et donne l'équation rigoureuse

$$Q'' + Q\left[\frac{1}{LC} - \frac{R}{4L^2} - \frac{R'}{2L} + \frac{RL'}{2L^2}\right] = 0.$$

Dans le cas où la capacité seule est variable, l'équation

$$q'' + q'\frac{R}{L}\frac{1}{24N} + \frac{q}{(24)^2N^2\left((a + b\sin\frac{2\pi\varphi}{24}\right)L} = 0$$

donne

$$q = Q\varepsilon^{-\frac{R}{2L}\frac{1}{24N}\varphi},$$

avec

$$Q'' + Q\left[\frac{1}{(24)^2N^2\left(a + b\sin\frac{2\varphi\pi}{24}\right)L} - \frac{R^2}{4[L.24N]^2}\right] = 0.$$

En outre des coefficients d'amortissements de cette dernière équation il faudra tenir compte de celui que donne la transformation (2).

L'équation ramenée à cette forme est d'une discussion plus simple; on peut en effet montrer facilement que les deux coefficients α et β ont une somme nulle (les deux facteurs λ_1, λ_2 sont l'inverse l'un de l'autre.) On sait en effet que si l'une des intégrales est $\varepsilon^{\alpha t}\Pi_1(t)$ l'autre est

$$\varepsilon^{\alpha t}\Pi_1(t)\int_0^t \frac{\varepsilon^{-2\alpha t}dt}{\Pi_1^2};$$

en supposant la fonction périodique Π_1^{-2} développée en série de Fourier et effectuant les intégrations, on fait apparaître dans tous les termes le facteur $\varepsilon^{-2\alpha t}$ qui, combiné avec le facteur $\varepsilon^{+\alpha t}$, donne comme seul facteur exponentiel dans la deuxième intégrale $\varepsilon^{-\alpha t}$. Ce facteur s'obtient alors au moyen d'une intégrale particulière par l'équation

$$\varepsilon^{2\alpha T} - \varepsilon^{\alpha T}\frac{F(0) + F(2T)}{F(T)} + 1 = 0.$$

et on a les deux fonctions périodiques

$$\left.\begin{aligned}\pi_1(t) &= [F(t) - \varepsilon^{\alpha T}F(t+T)]\varepsilon^{-\alpha T}\\ \pi_2(t) &= [F(t+T - \varepsilon^{\alpha T}F(t)]\varepsilon^{-\alpha T}\end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

Revenons à l'équation numérique

$$q'' + \frac{0{,}4348}{n^2}\frac{q}{1{,}5 + \sin\frac{2\pi\varphi}{24}} = 0.$$

Pour une valeur donnée de n, prenons pour $\varphi = 0$, $q_0 = 0$; alors $q''_0 = 0$. Prenons arbitrairement $q' = 10$ comme valeur moyenne de q' dans l'intervalle $\varphi = 0$, $\varphi = 1$; pour $\varphi = 1$, nous aurons $q_1 = 10$. L'équation nous donnera q''_1. Si l'intervalle est assez petit l'accroissement de q' depuis $\varphi = 0{,}5$ jusqu'à $\varphi = 1{,}5$ est égal à q_1''. Nous avons donc

$$q'_{1,5} = q'_{0,5} + q''_1 = 10 + q''_1.$$

Puis de même

$$q_2 = q_1 + q'_{1,5} = q_1 + 10 + q''_1.$$

Cette valeur de q_2 portée dans l'équation différentielle nous fait connaître q''_2; d'où $q'_{2,5}$, q_3, etc. On forme ainsi 3 colonnes q, q', q'', dont le calcul de proche en proche est très rapide.

Je citerai les tableaux relatifs à N = 100 et à N = 250. — Dans le premier cas (tableau II) la machine ne s'amorce pas, dans le second (tableau III), elle s'amorce d'elle-même.

La troisième et la quatrième colonne du tableau résumé devraient être identiques s'il ne s'était accumulé aucune erreur dans le calcul numérique, où l'on a traité un arc de $\frac{\pi}{12}$ ou 15° comme un élément infiniment petit. On voit que les écarts ne laissent aucune incertitude. La machine s'amorcera sponta-

TABLEAU II

N = 100 (*Périodique, l'amplitude a une longue période*).

φ	PREMIER TOUR q	PREMIER TOUR q'	PREMIER TOUR q''	DEUXIÈME TOUR q	DEUXIÈME TOUR q'	DEUXIÈME TOUR q''
0	0	+ 10	0	+ 11,03	— 9,48	— 1,28
1	+ 10	+ 9,012	— 0,988	+ 1,55	— 9,63	— 0,15
2	+ 19,012	+ 7,35	— 1,66	— 8,08	— 8,93	+ 0,70
3	+ 26,36	+ 5,34	— 2,01	— 17,01	— 7,63	+ 1,30
4	+ 31,70	+ 3,00	— 2,34	— 24,64	— 5,82	+ 1,81
5	+ 34,70	+ 0,56	— 2,44	— 30,46	— 3,68	+ 2,14
— 6 —	+ 35,26	— 1,89	— 2,45	— 34,14	— 1,30	+ 2,38
7	+ 33,37	— 4,24	— 2,35	— 35,44	+ 1,20	+ 2,50
8	+ 29,13	— 6,38	— 2,14	— 34,24	+ 3,72	+ 2,52
9	+ 22,75	— 8,12	— 1,74	— 30,52	+ 6,05	+ 2,33
10	+ 14,63	— 9,39	— 1,27	— 24,47	+ 8,17	+ 2,12
11	+ 5,24	— 9,91	— 0,52	— 16,30	+ 9,82	+ 1,65
— 12 —	— 4,67	— 9,37	+ 0,544	— 6,48	+ 10,57	+ 0,75
13	— 14,04	— 7,41	+ 1,96	+ 4,09	+ 10,00	— 0,575
14	— 21,45	— 3,67	+ 3,74	+ 14,09	+ 7,55	— 2,45
15	— 25,12	+ 1,83	+ 5,50	+ 21,64	+ 2,80	— 4,75
16	— 23,29	+ 7,89	+ 6,06	+ 24,44	— 3,55	— 6,35
17	— 15,40	+ 12,96	+ 5,07	+ 20,89	— 10,45	— 6,90
— 18 —	— 2,44	+ 13,81	+ 0,85	+ 10,44	— 14,09	— 3,64
19	+ 11,37	+ 10,06	— 3,75	— 3,65	— 12,89	+ 1,20
20	+ 21,43	+ 4,49	— 5,57	— 16,54	— 8,59	+ 4,30
21	+ 25,92	— 1,19	— 5,68	— 25,13	— 3,00	+ 5,59
22	+ 24,73	— 5,50	— 4,31	— 28,13	+ 1,90	+ 4,90
23	+ 19,23	— 8,20	— 2,70	— 26,23	+ 5,58	+ 3,68
24	+ 11,03	— 9,48	— 1,28	— 20,65	+ 7,98	+ 2,40

nément pour les fréquences comprises entre 230 et 350 (fig. 2). L'amorçage sera surtout rapide vers la fréquence 280. — La marche de la machine sera stable, et s'établira d'elle-

TABLEAU III

N = 250 (*Amorçage spontané*).

	PREMIER TOUR			DEUXIÈME TOUR		
φ.	q	q'	q''	q	q'	q''
0	0	+ 10	0	— 50,855	— 17,075	+ 0,95
1	+ 10	9,842	— 0,1582	— 67,930	— 16,00	+ 1,08
2	19,84	9,566	— 0,276	— 83,93	— 14,83	+ 1,17
3	29,406	9,200	— 0,360	— 98,76	— 13,62	+ 1,21
4	38,60	8,745	— 0,455	— 112,38	— 12,29	+ 1,33
5	47,345	8,210	— 0,535	— 124,67	— 10,88	+ 1,41
— 6 —	55,555	7,59	— 0,62	— 135,55	— 9,37	+ 1,51
7	63,145	6,88	— 0,71	— 144,92	— 7,74	+ 1,63
8	70,025	6,055	— 0,825	— 152,66	— 5,94	+ 1,80
9	76,080	5,12	— 0,93	— 158,60	— 4,00	+ 1,94
10	81,20	3,99	— 1,13	— 162,60	— 1,74	+ 2,26
11	85,19	2,64	— 1,35	— 164,34	+ 0,86	+ 2,60
— 12 —	87,83	+ 1,00	— 1,64	— 163,48	+ 3,91	+ 3,05
13	88,83	— 0,99	— 1,99	— 159,57	+ 7,49	+ 3,58
14	87,84	— 3,43	— 2,44	— 152,08	+ 11,72	+ 4,23
15	84,41	— 5,39	— 2,96	— 140,36	+ 11,63	+ 4,91
16	79,02	— 8,81	— 3,42	— 123,73	+ 21,98	+ 5,35
17	70,21	— 12,51	— 3,70	— 101,75	+ 27,33	+ 5,35
— 18 —	57,70	— 15,72	— 3,21	— 74,42	+ 31,46	+ 4,13
19	41,98	— 17,93	— 2,21	— 42,96	+ 33,72	+ 2,26
20	24,05	— 18,97	— 1,04	— 9,24	+ 34,12	+ 0,40
21	+ 5,08	— 19,15	— 0,18	+ 24,88	+ 33,24	— 0,88
22	— 14,07	— 18,76	+ 0,39	+ 58,12	+ 31,63	— 1,61
23	— 32,83	— 18,025	+ 0,735	+ 89,75	+ 29,62	— 2,01
— 24 —	— 50,855	— 17,075	+ 0,95	+ 119,37	+ 27,40	— 2,22

même à la fréquence 230 environ, si la vitesse de mise en train du moteur est comprise entre 230 et 270 ou 280 alternances par seconde.

Au-dessous de 220 alternances, l'amplitude

TABLEAU RÉSUMÉ

n	N	$\frac{q_{48}+q_0}{2q_{24}}$	$\frac{q'_{48.5}+q'_{0.5}}{2q'_{24.5}}$	$\lambda = \varepsilon^{\alpha T}(\cos\theta \pm i \sin\theta)$	θ	αT
0,5	100	— 0,937	— 0,95	— 0,94 ± 0,336 i	± 170°20′	0
0,75	150	+ 0,935	+ 0,949	+ 0,94 ± 0,336 i	± 19°40′	0
1	200	— 0,336	— 0,336	— 0,336 ± 0,94 i	± 109°40′	0
1,25	250	— 1,175	— 1,095	— 1,14 ± 0,55	π	± 5
1,5	300	— 1,198	— 1,198	— 1,198 ± 0,662	π	± 6,5
1,75	350	— 0,99	— 1,04	— 1	π	0
2	400	— 0,796	— 0,796	— 0,796 ± 0,605 i	± 142°25′	0

subira des variations à longue période; *pour 150 alternances par seconde, par exemple, cette longue période comprend un peu plus de 18 périodes simples.* D'ailleurs au-dessous de 230, comme au-dessus de 350 alternances,

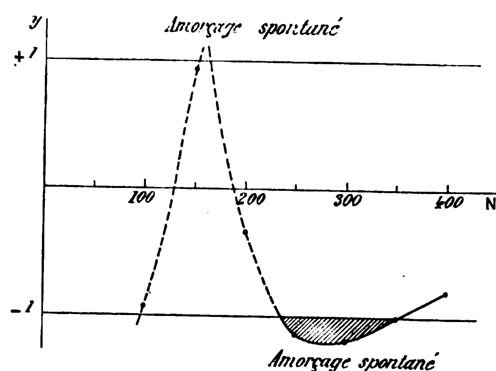


Fig. 2.

l'amortissement dû à la résistance subsiste tout entier et la machine se désamorcera lentement à vitesse constante. Cet amortissement, très faible dans l'exemple numérique traité, doit être combiné avec l'accroissement $\varepsilon^{\alpha T}$, et restreint, plus ou moins, les limites d'amorçage spontané. Il peut même les supprimer complètement si la résistance est grande.

Au moyen des nombres détaillés des deux tableaux, il est facile de calculer par les formules (3), les fonctions Π_1 Π_2 correspondantes et il est intéressant de savoir à quel point elles sécartent de la forme sinusoïdale simple.

Cette fonction, — comme la fonction Π_2 d'ailleurs — est formée d'une partie réelle et d'une partie imaginaire. On a en effet :

$$\lambda_1 = \varepsilon^{\alpha T} = -1{,}69, \qquad \text{et} \qquad \lambda_2 = \varepsilon^{-\alpha T} = -0{,}59.$$

Donc

$$\lambda_1 = \varepsilon^{5 + \pi\sqrt{-1}} = 1{,}69 \cos \pi,$$

et

$$\varepsilon^{\alpha t} = \varepsilon^{5\frac{t}{T} + \sqrt{-1}\,\pi\frac{t}{T}}$$

$$= (1{,}69)^{\frac{t}{T}} \left[\cos \pi \frac{t}{T} + \sqrt{-1} \sin \frac{\pi t}{T}\right].$$

Le facteur $F(t) - \lambda_1 F(t+T)$ étant réel, la fonction périodique Π_1 se compose d'une partie réelle

$$\pi_1 = (1{,}69)^{-\frac{t}{T}} \cos \pi \frac{t}{T} \cdot [F(t) - \lambda_1 F(t+T)],$$

et d'une partie imaginaire

$$\chi_1 = -(1{,}69)^{-\frac{t}{T}} \sin \pi \frac{t}{T} \cdot [F(t) - \lambda_1 F(t+T)] (\sqrt{-1}).$$

On n'a donc rien de simple en mettant en évidence la période T. Le signe négatif du facteur λ_1 montre que la période T qui entre en évidence dans l'équation différentielle n'est que la moitié de la période qui apparait dans les solutions correspondantes à l'amorçage, mises sous forme réelle. Au lieu de la fonction Π_1 de période T, mettons en évi-

dence la fonction réelle Ψ_1 de période $2T$, comme suit :

$$F(t) - \lambda_1 F(t+T) = (\lambda_1{}^2)^{\frac{t}{2T}} \cdot \Psi_1(t)$$

On aura

$$\Psi_1 = \pi_1 . \cos\frac{\pi t}{T} - \chi_1, \sin\frac{\pi t}{T},$$

ce qui montre bien, que la fonction ainsi choisie Ψ_1 se reproduit au bout du temps $2T$, et en outre que les deux demies périodes sont identiques au signe près.

C'est cètte fonction Ψ_1, calculée d'après le tableau ($N = 250$) par la formule

$$\Psi_1 = (1{,}69)^{-\frac{\varphi}{24}} [F(\varphi) + 1{,}69\, F(\varphi + 24)],$$

que reproduit la figure 3.

Il est intéressant de constater par comparaison avec la figure I, que le terme pério-

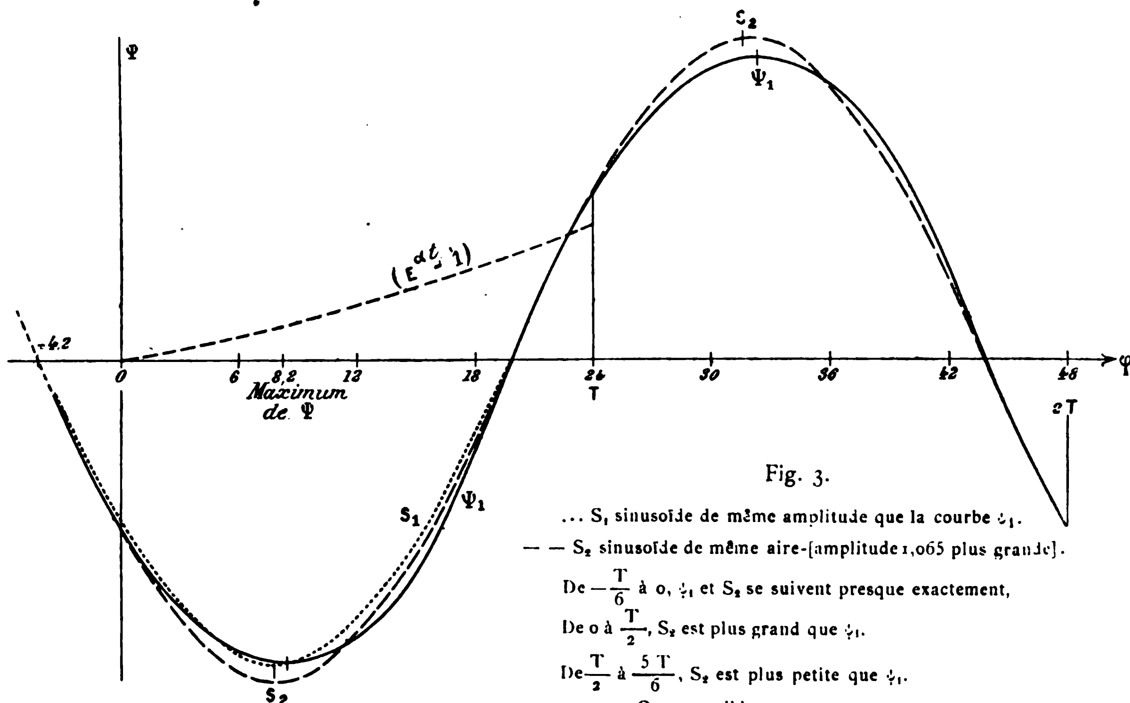


Fig. 3.

... S_1 sinusoïde de même amplitude que la courbe ψ_1.

— — S_2 sinusoïde de même aire-[amplitude 1,065 plus grande].

De $-\frac{T}{6}$ à o, ψ_1 et S_2 se suivent presque exactement,

De o à $\frac{T}{2}$, S_2 est plus grand que ψ_1.

De $\frac{T}{2}$ à $\frac{5T}{6}$, S_2 est plus petite que ψ_1.

On a sensiblement :

$$\psi_1 = -1{,}63 \sin\frac{2R}{48}(\varphi + 4{,}2) - 0{,}15 \sin\frac{2\pi}{24}(\varphi + 4{,}2) + 0{,}10 \sin\frac{2\pi}{16}(\varphi + 4{,}2).$$

dique Ψ diffère d'un sinus beaucoup moins que ne faisait le terme $\left(\frac{1}{LC}\right)$ qui lui a donné naissance ; l'amplitude du terme complémentaire est moins d'un dixième de celle du terme principal [1].

Il y a évidemment une autre région d'amorçage spontané possible, vers $N = 170$, une autre vers $N = 100$ d'après le tracé de la demi-somme des deux racines. Les méthodes d'approximation de la mécanique céleste montrent bien en effet une infinité de régions d'amorçage spontané probable pour des périodes sous-multiples de la période propre du système arrêté lorsque celle-ci ne subit que des variations infiniment petites entre ses positions extrêmes. M. Tisserand qui a étudié cette question d'une manière approfondie (*Mécanique céleste*, t. III, p. 1 et suiv.) a montré que deux seulement dans ces régions sont instables (ici $N = 230\text{-}350$,

---

[1] Ce résultat montre qu'on gagne beaucoup sur la convergence des séries en prenant l'équation type sous la forme

$$P(t)q'' = q, \quad \text{au lieu de} \quad q'' = P(t)q.$$

et $N = 170$ environ). Mais lorsque la période propre varie beaucoup entre les positions d'arrêt, ce qui sera le cas de toute machine à bon rendement les méthodes de la mécanique céleste n'apprennent plus rien ; et on peut croire que la seconde région d'amorçage possible disparaîtrait dans ce cas. En outre, cette région disparaît la première, dès que les résistances électriques introduiront une cause d'amortissement régulière.

En résumé, l'armorçage est possible dans une étendue de fréquences notable, à moins que l'amortissement propre du système ne soit énorme. On réalisera la marche stable en débutant à une fréquence supérieure au double de la plus petite fréquence propre du système arrêté, mais inférieure au double de la fréquence moyenne du système arrêté.

Conclusion. — Un système de ce genre mérite-t-il d'être essayé industriellement ? Tout dépend des progrès de la construction industrielle des condensateurs, sans absorption ou hystérésis électrique. Il est évident que le condensateur à capacité variable est encombrant et, par la nature même des forces électriques, peu capable d'absorber de grandes puissances. C'est la bobine qu'il faut faire tourner.

La discussion numérique restera la même pour un circuit de capacité invariable C et de self induction variable $L_0 + L_1 \sin \theta$, avec mêmes valeurs numériques des coefficients de l'équation finale ; mais l'équation de transformation (2) donnerait alors

$$q = Q\varepsilon^{-\int \frac{R}{L_0 - L_1 \sin\theta} dt}$$

$$\theta = Q\varepsilon^{\frac{-\theta}{4\omega}\left[\text{arc tang}\left(\sqrt{\frac{L_0 - L_1}{L_0 + L_1}}\,\frac{\theta}{2}\right)\right]\frac{1}{\sqrt{L_0^2 - L_1^2}}}.$$

l'amortissement dù aux résistances étant périodique, la forme du courant s'écarterait encore davantage de la forme sinusoïdale.

. Mais le condensateur de très grande capacité est indispensable. Il faut en effet que le système arrêté ait une période propre pour être amorçable, et j'ai montré autrefois que dans un système exclusivement formé de bobines l'électricité n'a pas de mouvement périodique.

La puissance de la machine sera en rapport inévitable avec les courants alternatifs qui la parcourent, et par suite avec la capacité des condensateurs, puisque la différence de potentiel maximum sera nécessairement limitée par des conditions de sécurité ou de conservation des isolements. De toute façon, soit qu'on s'adresse aux condensateurs statiques, ou aux électrolytes, il semble difficile d'associer la grande capacité et la grande différence de potentiel sans un encombrement excessif.

C'est seulement lorsqu'on se décidera à construire de grandes machines rapides donnant directement un millier d'alternances par seconde, ou davantage, que ce genre d'alternateurs auto-excitateurs pourra peut-être devenir pratique.

Marcel Brillouin,
Maître de conférences
à l'École normale supérieure.

MESURE DES RÉSISTANCES

PONT DE WHEATSTONE

L'emploi des appareils à lecture directe, que nous avons examinés précédemment sous le nom d'ohmmètres, est généralement limité à un très petit nombre de vérifications rapides et grossières ; la mesure proprement dite des résistances repose sur diverses combinaisons de galvanomètres et de boîtes. La disposition appelée pont de Wheatstone est une des plus répandues.

Quatre conducteurs de résistances a, b, R et x (fig. 1) étant réunis en losange, si on relie les sommets 1 et 2 à une pile de force électromotrice E et de résistance intérieure B, les circuits $a + x$ et $b + R$, sont parcourus chacun par un courant en raison inverse de leur résistance. Le long de chacun de ces conduc-

teurs, la chute de potentiel est proportionnelle à la résistance; quand on vient à réunir les points 3 et 4 par un *pont* de résistance g,

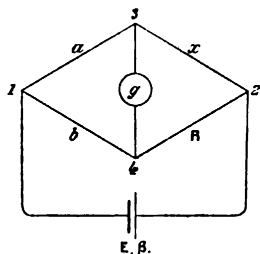


Fig. 1. — Schéma du pont de Wheatstone.

celui-ci est parcouru par un courant dont l'intensité dépend de la différence de potentiel entre 3 et 4; mais quand les résistances sont telles que :

$$\frac{a}{b} = \frac{R}{x},$$

les points 3 et 4 sont au même potentiel et le *pont* g n'est parcouru par aucun courant. En formant le *pont* avec un galvanomètre sensible, on constate que celui-ci reste au zéro, quand la condition précédente est remplie. On se sert de cette propriété pour mesurer les résistances; en effet, il suffit de connaître trois des résistances pour en déduire la quatrième :

$$x = R\,\frac{b}{a}.$$

Par extension, on donne souvent le nom de *pont* à deux branches contiguës du losange, dont le rapport, connu et invariable, est le facteur par lequel il faut multiplier la troisième résistance pour trouver l'inconnue. Les branches a et b sont dans ce cas, elles constituent dans les boites de résistances les ***bras de proportion*** ou le *pont*.

Le galvanomètre servant simplement à constater l'absence du courant entre 3 et 4, l'exactitude de la mesure de x n'est limitée que par la précision des résistances a, b et R. Toutefois, la sensibilité du galvanomètre n'étant pas illimitée, il arrive quelquefois que la précision des résistances est supérieure à l'erreur que fait commettre le défaut de sensibilité. Pour déterminer cette erreur, il faut connaître l'intensité du courant qui traverse la branche g quand l'équilibre n'est pas atteint. L'application des lois de Kirchhoff donne :

$$i_g = \frac{E\,(Ra - bx)}{\Delta}$$

et

$$\begin{aligned}\Delta = {} & \beta\,(b+a)\,(R+x) \\ & + g\,(b+R)\,(a+x) \\ & + \beta g\,(a+b+R+x) \\ & + bR\,(a+x) + ax\,(b+R).\end{aligned}$$

i_g est évidemment nul quand $Ra = bx$. mais à ce moment, une petite variation dx de x, détruit l'équilibre, et b le courant dans le galvanomètre peut s'écrire :

$$i_g = \frac{E}{\Delta_1}\,b\,dx, \qquad (2)$$

en appelant Δ_1 le dénominateur de l'équation (1), simplifié en considérant l'égalité $Ra = bx$ comme réalisée malgré le déréglage dx.

Le galvanomètre employé permet d'observer une déviation minimum d_0, à laquelle correspond une intensité i_0 :

$$i_0 = \frac{d_0}{F_m}.$$

Tant que l'intensité i_g sera plus petite que i_0, on constatera l'équilibre du galvanomètre, bien que le rapport des résistances diffère de :

$$\frac{a}{b} = \frac{R}{x};$$

l'erreur absolue dx que l'on pourra commettre, sera :

$$dx = \frac{\Delta_1}{bEF_m}\,d_0,$$

et l'erreur relative, en remplaçant Δ_1, par sa valeur,

$$\frac{dx}{x} = \frac{d_0}{EF_m}\,\frac{1}{abR}\,[g\,(b+R) + R\,(a+b)] \times [\beta\,(b+a) + a\,(b+R)]. \qquad (2)$$

Cette équation montre que l'erreur relative, est en raison inverse de la force électromo-

trice employée, ainsi que de la sensibilité du galvanomètre.

Pour un galvanomètre donné, l'erreur relative est proportionnelle à la plus petite déviation mesurable d_0 ; ceci est très important, car d_0 varie avec les observateurs et souvent aussi avec les conditions extérieures. Avec la plupart des galvanomètres à miroir, on peut, lorsque l'image du spot est nette et bien au point, observer des déplacements inférieurs au millimètre. Cependant, les galvanomètres à aimants mobiles, dont l'astaticité n'est pas parfaite, présentent quelquefois des déplacements de zéro assez rapides, pour rendre l'observation au millimètre près illusoire. Les vibrations du sol amènent aussi des déplacements de zéro du même ordre de grandeur. Les galvanomètres à cadre mobile sont plus stables que les précédents ; on peut, facilement, observer le quart de millimètre, ce qui les rend, à durée d'oscillation égale, équivalents aux galvanomètres Thomson de construction courante.

Il est important, à la fois pour la rapidité des mesures et pour leur exactitude, d'employer un galvanomètre à oscillations aussi rapides que le permet la sensibilité nécessaire, autrement la déviation et le retour au zéro se font très lentement et on s'expose à croire l'équilibre atteint alors que la déviation ne s'est pas encore produite. Cet effet est très manifeste avec les galvanomètres à cadre mobile ; lorsqu'on veut obtenir des sensibilités très grandes, la résistance d'amortissement croît énormément, de telle sorte que, fermés sur un pont de Wheatstone, ces galvanomètres sont beaucoup trop amortis, ils ralentissent trop les déplacements du cadre. Le résultat est de rendre, pour les très grandes sensibilités, les galvanomètres à cadre mobile, inférieurs aux galvanomètres Thomson, mais pour les mesures courantes, ils leur sont au contraire beaucoup supérieurs.

L'équation (2) montre également que l'erreur relative minimum pour un galvanomètre de résistance nulle, augmente ensuite proportionnellement à celle-ci, toutes choses égales d'ailleurs. Dans le choix du galvanomètre, il y a lieu de tenir compte, à la fois, de la sensibilité et de la résistance de celui-ci.

A *sensibilité égale,* il y a *toujours* intérêt à prendre le galvanomètre de *moindre résistance.*

Pour des galvanomètres *semblables,* dont la sensibilité croît à peu près comme $\sqrt{g}$, il faut, autant que possible, choisir celui dont la résistance est égale à la résistance extérieure, non compris la pile ; c'est-à-dire qu'on doit avoir :

$$g = \frac{(a+b)(x+R)}{a+b+R+x}. \qquad (3)$$

Cette condition est très rarement réalisable, il n'y a guère que dans les mesures très précises que l'on cherche à s'en approcher le plus possible ; comme alors on fait très souvent $a = b = R = x$, ou à très peu de chose près, il faut avoir $g = x$; il suffit de choisir le fil en conséquence.

Dans la pratique courante, avec les boîtes de résistances, les valeurs des branches changent constamment ; on peut déduire de (3), que, pour des bras de proportion a et b donnés, le galvanomètre doit avoir une résistance, au plus égale à $a + b$.

La position relative du galvanomètre et de la pile dans les diagonales 1-2 ou 3-4, n'est pas indifférente ; il faut toujours chercher les dispositions qui rendent la résistance, prise suivant une diagonale, aussi égale que possible à la résistance de la pile ou du galvanomètre. Supposons, par exemple, un galvanomètre de 5 000 ohms, une pile de 20 ohms, a et b, chacune 10 ohms et enfin, R et x égales à 1 000 ohms.

La résistance entre 1 et 2 est 505 ohms, entre 3 et 4 elle est 18,8 ohms, il faut donc mettre le galvanomètre entre 1 et 2 et les piles entre 3 et 4. Si nous avions $g = 2$ ohms, $\mathfrak{p} = 20$ ohms, a et $b = 1$, R et $x = 100$, il faudrait, au contraire, placer le galvanomètre entre 3 et 4, où la résistance est seulement de 1,88 ohm, tandis qu'elle est 50,5 entre 1 et 2.

Les points d'attache sont rarement déterminés par les considérations précédentes. Dans l'emploi des boîtes de résistances, les valeurs des quatre bras varient trop souvent, il faudrait continuellement changer les connexions ; d'ailleurs, dans la plupart des boîtes, les points d'attache sont gravés à côté de chacune des bornes. Avec les ponts à fil, on fixe ordinairement le galvanomètre au curseur mobile, dans le but d'éviter les très petites étincelles qui pourraient se produire à la rupture du circuit, et qui altéreraient la surface du fil.

EMPLOI DES PONTS A FIL

La façon la plus simple de réaliser un pont de Wheatstone, consiste à comparer la résistance inconnue x à une résistance connue a, en déterminant le *rapport* entre ces deux quantités ; c'est ce que l'on fait au moyen du pont à fil.

Un fil homogène et de résistance convenable, tendu entre les points 1 et 2 (fig. 2), remplace les branches b et R de la figure 1. Le galvanomètre est relié au curseur C et à la borne placée entre les résistances a et x ; le courant arrive aux extrémités du fil. Si on néglige la résistance des barres de connexion, on peut remplacer le rapport des résistances b et R, par le rapport des longueurs l et l' des deux parties du fil comprises entre le curseur et chacune des extrémités.

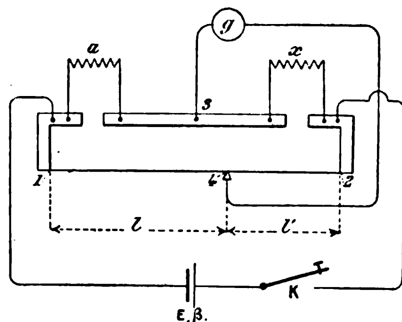


Fig. 2. — Pont à fil.

L'emploi du pont à fil est des plus simples ; les connexions étant effectuées comme ci-dessus (fig. 2), au moyen d'une clef K on ferme le circuit de la pile, puis on abaisse le curseur C et, si le galvanomètre dévie, on déplace le curseur le long du fil, jusqu'à obtenir l'équilibre ; à ce moment on a :

$$x = a \frac{l'}{l}.$$

Pour obtenir de bons résultats avec cette méthode, il faut que le fil ait une résistance aussi grande que possible, de manière à rendre négligeables les résistances des conducteurs de jonction. Il faut également ne comparer que des résistances du même ordre de grandeur, de telle sorte que le rapport $\frac{l'}{l}$ ne dépasse pas les limites de $\frac{1}{5}$ à $\frac{5}{1}$. En effet, si faibles que soient les résistances m et m' des conducteurs extrêmes, dès que l'une des résistances devient très petite par rapport à l'autre, on a en réalité :

$$\frac{x}{a} = \frac{l' + m'}{l + m};$$

cette expression diffère d'autant plus de la première que l' s'éloigne plus de l.

La résistance que l'on peut donner au fil est limitée, en pratique, par cette considération qu'un fil de grand diamètre a une section plus uniforme et s'altère moins qu'un de petit diamètre. On emploie généralement un fil de platine iridié de 0,5 à 1 millimètre, sur une longueur de 1 mètre ; la résistance est comprise entre 0,5 et 2 ohms.

On emploie aussi, pour les mesures de très grande précision, des méthodes dans lesquelles le fil du pont sert seulement d'appoint pour obtenir l'équilibre parfait ; parmi celles-ci, la suivante, due à MM. Mascart et Benoît a servi à la mesure des étalons prototypes de l'ohm légal ; c'est une méthode de substitution.

Trois résistances auxiliaires a, b et R, (fig. 3), aussi égales que possible à la résistance à mesurer x et à l'étalon ε, sont reliées au pont à fil comme l'indique le schéma. En x on place successivement la bobine étalon et la bobine à mesurer.

Une première mesure est faite avec l'étalon, on déplace le curseur C jusqu'à obtenir l'équilibre parfait du galvanomètre; il faut avoir recours à un galvanomètre très sensible et comme il est nécessaire d'obtenir de très petits déplacements du curseur, il faut

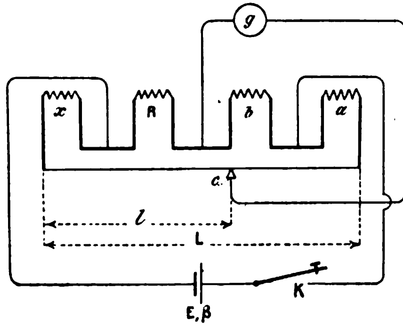


Fig. 3. — Autre disposition du pont à fil.

que celui-ci soit commandé par une vis micrométrique. L'équilibre étant obtenu pour une longueur l, lue sur la règle graduée, on peut écrire, en appelant m et m' les résistances inconnues mais constantes, des pièces de cuivre et des contacts extrêmes du pont, r la résistance par unité de longueur du fil :

$$\frac{R}{b} = \frac{\varepsilon + l_1 r + m}{a + (L - l_1) r + m'}.$$

Pour éliminer l'inégalité des résistances R et b, on inverse la position de ces branches et on fait une nouvelle mesure qui donne :

$$\frac{b}{R} = \frac{\varepsilon + l'_1 r + m}{a + (L - l'_1) r + m'}.$$

Deux mesures semblables, faites avec la résistance à mesurer x, donnent :

$$\frac{R}{b} = \frac{x + lr + m}{a + (L - l) r + m'},$$

$$\frac{b}{R} = \frac{x + l'r + m}{a + (L - l') r + m'};$$

de ces équations on tire la valeur de la *différence* entre x et ε, ce qui permet, lorsque cette différence est petite, d'atteindre une très grande exactitude; on a :

$$x = \varepsilon + [(l_1 + l'_1) - (l + l')] r.$$

Dans le pont qui a servi aux mesures de l'ohm légal, le fil avait environ 0,0001 ohm par millimètre et le vernier du curseur permettait la mesure à 0,1 mm près; l'incertitude de chaque mesure ne dépassait donc pas 0,00001 ohm, c'est-à-dire 0,001 p. 100.

Pour des mesures aussi précises, il est important de répéter chaque opération deux fois, en renversant le sens du courant, ce qui élimine les forces électromotrices parasites qui prennent naissance dans les branches et aux contacts. Il faut employer le galvanomètre le plus sensible possible, pour pouvoir, à déviation égale, réduire l'intensité du courant au minimum; enfin, pour que les résistances de contact soient presque négligeables, il faut employer le mercure.

EMPLOI DES BOÎTES A PONT

La méthode la plus pratique, et d'ailleurs la plus employée, consiste à faire usage des boîtes de résistances avec bras de proportions semblables à celles qui ont été décrites précédemment (t. IX, p. 358).

Les conditions de construction obligent souvent à disposer les résistances formant les branches, a, b et R (fig. 1), dans des positions où il n'est pas toujours facile de retrouver le schéma; de plus, les conducteurs intérieurs, destinés à relier les circuits, ne sont pas toujours indiqués sur l'ébonite, ce qui rend la tâche encore plus malaisée; il est cependant d'un usage assez général de graver, auprès des bornes, le nom des fils qui doivent y aboutir. Souvent, dans un but d'ornementation sans intérêt pratique, les constructeurs disposent sur la boîte des bornes d'attache absolument inutiles, les débutants devront éviter de les confondre avec les autres.

Dans presque toutes les boîtes existantes, le galvanomètre est relié aux extrémités des bras de proportion, aux points 3 et 4, et la pile vient s'attacher, d'une part, entre les bras de proportion, d'autre part entre la résistance inconnue x et le rhéostat R; enfin, deux clefs à ressort servent à fermer, indé-

pendamment l'un de l'autre, les circuits de la pile et du galvanomètre.

La manœuvre d'une boîte avec pont s'effectue à peu près comme celle d'une balance dans une pesée. Les connexions sont d'abord établies comme l'indiquent les noms gravés auprès des bornes, ou, à défaut, selon le schéma ci-dessus. Tous les contacts doivent être parfaitement propres et bien serrés; ceux qui relient la résistance à la boîte, parce qu'ils peuvent causer des erreurs quelquefois plus grandes que la résistance à mesurer; ceux de la pile et du galvanomètre, parce qu'ils diminuent la sensibilité lorsque leur résistance est trop grande. On doit enfin, avant de commencer la mesure, s'assurer que toutes les fiches sont propres et bien les resserrer pour assurer le contact.

Quand on ignore la grandeur de la résistance à mesurer, il est nécessaire de procéder systématiquement, pour perdre le moins de temps possible. Deux résistances a et b sont placées dans les bras de proportion, une autre résistance R dans le rhéostat; on abaisse d'abord la clef de pile, puis, pendant un temps très court, celle du galvanomètre; si ce dernier dévie peu ou pas du tout, on est près de l'équilibre et on peut prolonger l'abaissement de la clef du galvanomètre, car on ne risque pas d'endommager cet instrument par le passage d'un courant trop fort; il ne reste plus qu'à finir le réglage de R. Si au contraire, la déviation a été très forte, il y a lieu de chercher une valeur plus approchée de R ou un rapport plus favorable des bras de proportion. Une expérience préalable faite avec une durée de contact extrêmement courte, en prenant R égal à o ou à l'infini, a montré quel sens de déviation correspondait à une valeur trop forte ou trop faible de R, on sait donc immédiatement si l'on doit augmenter ou diminuer R pour obtenir l'équilibre; il faut immédiatement chercher si la résistance inconnue peut être équilibrée par le rhéostat et si la valeur obtenue est assez grande. Quand R est insuffisant, il faut augmenter le rapport $\frac{a}{b}$; il faut le diminuer quand l'équilibre est obtenu pour une valeur trop petite de R.

Dans cette période de tâtonnements, il est utile, surtout pour les débutants, de réduire la sensibilité. Deux moyens sont employés, le premier qui consiste à shunter le galvanomètre, n'est pas très efficace; en effet, par ce moyen on réduit la sensibilité du galvanomètre, mais aussi on diminue sa résistance dans le même rapport; or, il suffit de considérer l'équation (1), pour voir que l'intensité i_g augmente, et peut, si g est très grand, compenser à peu près l'effet dû à la diminution de sensibilité. Il est préférable de mettre une résistance *en série* avec le galvanomètre, le résultat est plus certain.

Un moyen également certain, et que nous recommandons beaucoup, consiste à intercaler un rhéostat *dans le circuit de la pile;* on peut arriver ainsi à affaiblir énormément l'intensité i_g, mais aussi, ce qui est très important, on affaiblit le courant dans toutes les résistances du pont, ce qui a le grand avantage de diminuer l'échauffement produit par le passage réitéré du courant.

Pour finir le réglage, on peut admettre en pratique qu'il faut toujours avoir en R la plus grande valeur possible, sous réserve des conditions de sensibilité; cette règle a pour principal avantage de faire faire les mesures de valeurs semblables toujours dans les mêmes conditions. Avec les boîtes couramment employées, on se servira des rapports suivants :

$\frac{a}{b} = \frac{1}{100}$ pour $x =$	0 à	100	ohms.
$\frac{1}{10}$	100 à	1 000	»
1	1 000 à	10 000	»
10	10 000 à	100 000	»
100	100 000 à	1 megohm.	

Comme dans les boîtes dont nous parlons, où les bras de proportion sont ordinairement composés de 3 ou 4 paires de bobines égales, les mêmes rapports peuvent être obtenus avec des résistances différentes, il y a lieu

de choisir la valeur de $a + b$ qui s'approche le plus de la résistance du galvanomètre.

Prenons comme exemple, une boite dont le pont est composé de 6 bobines :

1000 — 100 — 10 — 10 — 100 — 1000

les rapports peuvent être obtenus de la façon suivante :

$$\frac{1}{100} = \frac{10}{1000},$$
$$\frac{1}{10} = \frac{10}{100} = \frac{100}{1000},$$
$$1 = \frac{10}{10} = \frac{100}{100} = \frac{1000}{1000},$$

et inversement pour les autres. Avec un galvanomètre ayant 200 ohms de résistance, nous devrons employer de préférence les rapports :

$$\frac{10}{100}, \quad \frac{100}{100} \text{ et } \frac{100}{10}.$$

Au contraire, avec un galvanomètre de 2000 ohms, il faudrait prendre :

$$\frac{100}{1000}, \quad \frac{1000}{1000} \text{ et } \frac{1000}{100},$$

pour obtenir la plus grande sensibilité.

Pour finir le réglage, le rhéostat, si on en a introduit un dans le circuit de la pile ou du galvanomètre, doit être supprimé ou réduit à la plus petite valeur nécessaire pour éviter l'échauffement.

Les derniers tâtonnements avant l'équilibre, sont absolument semblables à ceux de la manœuvre d'une balance ; on agit successivement sur les mille, les centaines, les dizaines et les unités, jusqu'au moment où le passage du courant ne fait plus dévier le galvanomètre, ou, plus généralement, quand une variation d'une unité fait changer le sens de la déviation ; la résistance R à noter est alors comprise entre ces deux valeurs. Quand R est petit, il y a quelquefois intérêt à connaître la fraction d'unité qu'il faudrait ajouter pour obtenir l'équilibre exact ; on procède ainsi : le courant fourni par la pile étant supposé constant, on note la déviation permanente du galvanomètre quand la résistance est trop faible, soient R et d la résistance et la déviation ; on met alors 1 ohm de plus à la boite et on observe la déviation d', qui doit être de sens opposé. Comme les déviations observées sont petites, au besoin on réduit la sensibilité pour qu'il en soit ainsi, comme aussi, dans le cas de faibles écarts relatifs de R, on peut admettre qu'il y a proportionnalité entre les déviations et les résistances, la valeur de x est donnée par :

$$x = \frac{a}{b}\left(R + \frac{d}{d + d'}\right).$$

Dès que R atteint 1 000 ohms, il est inutile de se servir de ce moyen, la précision étant déjà suffisante par la valeur entière de R. Il est également inutile de calculer le rapport des déviations au delà de la première décimale, car, si R est égal ou supérieur à 100, on obtient ainsi le millième relatif ; si R est plus petit que 100, la loi de proportionnalité n'est plus assez exacte.

Dans toutes les mesures de résistances, il est bon de fermer d'abord le circuit de la pile, puis ensuite le circuit du galvanomètre ; on évite ainsi les déviations brusques que celui-ci peut subir pendant la période variable du courant. Dans la mesure des électros renfermant une grande masse de fer, ou dans celle des câbles ayant une grande capacité, il faut même laisser un intervalle assez long entre la fermeture de la pile et celle du galvanomètre ; près d'une minute dans certains cas extrêmes.

A la rupture, c'est par le circuit du galvanomètre qu'il faut commencer.

Quand on est certain que la période variable est négligeable et quand, d'autre part, on craint l'échauffement des résistances, il vaut mieux procéder de la façon inverse.

Pour les mesures exactes il est toujours nécessaire de tenir compte de la température, pour la résistance à mesurer d'abord, ensuite pour la boite elle-même, si elle a un coefficient de variation non négligeable. Les bobines en fil de maillechort, dont le coefficient est

•••

en moyenne 0,04 p. 100, subissent, par le seul fait des écarts de température des variations supérieures à 0,5 p. 100 de l'été à l'hiver. En général la température t_1 à laquelle la *moyenne* des bobines est exacte, est gravée sur la boite; si t est la température de la boîte, ou à défaut la température ambiante lorsque celle-ci est stable, et si nous appelons a_1 le coefficient de variations des bobines, la valeur exacte de x à la température t, est:

$$x = \frac{a}{b} R \{1 + a_1 (t - t_1)\}.$$

Quelle force électromotrice peut-on employer avec les boites de résistances à pont? Cette question d'un intérêt capital, n'est pas susceptible d'une solution générale; néanmoins les quelques considérations suivantes pourront un peu éclaircir la question.

Le courant venant de la pile se bifurque dans les deux bras de proportion a et b, les quantitées de chaleur dégagées dans chacune des bobines sont en raison inverse de a et b, donc, à moins que l'on ait le rapport 1, les échauffements sont inégaux et si la température d'une des bobines s'élève, l'équilibre est rompu, sauf le cas où les bobines sont en fil à coefficient nul; on a, dans ce cas, une indication que le courant employé est trop fort; cependant, comme la variation apparente de la résistance mesurée peut être produite par d'autres causes, il ne faut pas y attacher une trop grande importance.

Les quatre branches du pont sont dans des conditions de refroidissement différentes; il suffit que la plus mal partagée soit dans des conditions acceptables pour que les autres le soient également. Le refroidissement des bobines de résistances est presque nul, il en résulte, lorsque les mesures sont fréquentes et portent sur des valeurs presque semblables, un échauffement sensible, capable d'amener des erreurs importantes; c'est ainsi que nous avons fréquemment constaté des erreurs supérieures à 0,5 p. 100, provenant du rapport de a à b, après de longues séries de mesures. Un autre facteur important est la durée de chaque mesure, celle-ci est déterminée par l'habileté de l'opérateur et aussi par la durée d'oscillation du galvanomètre.

Quand la sensibilité du galvanomètre est plus que suffisante, on peut diminuer l'intensité du courant et, par suite, réduire l'échauffement; mais la force électromotrice qui donne une sensibilité et un échauffement acceptables, pour une certaine valeur de x, ne convient pas toujours pour une autre valeur; la solution la plus parfaite serait donc de proportionner E à chaque mesure, ce moyen n'est pas toujours pratique.

Les valeurs élevées de x, exigent des forces électromotrices élevées, nous avons d'ailleurs vu que les bobines de résistances peuvent supporter des voltages qui croissent à peu près comme $\sqrt{R}$; mais la même valeur de E qui convient très bien à une bobine de 10000 ohms, amènera fatalement la destruction d'une bobine de 1 ohm, à moins cependant que la résistance intérieure β de la pile, soit assez grande pour ramener l'intensité à la valeur convenable; c'est pour cette raison que nous recommandons de préférence l'introduction d'un rhéostat dans le circuit de la pile.

En étudiant les conditions de fonctionnement des boites de résistances les plus employées nous sommes arrivés à cette conclusion, d'apparence paradoxale, qu'une source d'électricité donnant 32 volts, mais ayant une résistance intérieure de 2000 ohms, donnerait dans le plus grand nombre de circonstances, l'intensité maximum, sans causer d'échauffement préjudiciable à l'exactitude des mesures. Ce cas étant une limite, toutes les fois qu'on aura à employer un galvanomètre peu sensible, pour des mesures d'étendue très variable, il faudra chercher à s'en approcher.

Dans la plupart des cas on emploie des forces électromotrices beaucoup plus faibles: souvent 1 ou 2 volts; il ne faut pas oublier que la résistance intérieure de la pile ne doit pas être trop faible, car on risque alors de voir l'intensité devenir trop élevée quand la résistance mesurée est très petite; au contraire,

quand on mesure de grandes résistances, la valeur de β n'affaiblit pas l'intensité d'une manière sensible.

Dans la pratique courante, 1 ou 2 éléments Meidinger suffisent ; leur résistance intérieure, qui est environ de 10 ohms, remplit bien la condition ci-dessus; ils peuvent rester montés plusieurs mois; enfin, ils fournissent un courant assez constant pour permettre l'emploi de la méthode d'interpolation par déviation, ce qui n'est pas le cas avec les éléments Leclanché.

(*A suivre.*)

H. Armagnac.

SUR LE CALCUL
DU
RÉSEAU DE DISTRIBUTION
DES TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

M. del Proposto faisait ressortir dernièrement, dans un très intéressant article publié ici même [1], l'importance pratique du calcul des réseaux de tramways. Tandis que, pour les réseaux d'éclairage, on calcule la section la plus économique d'après la formule connue de lord Kelvin, pour les réseaux de tramways, on se contente de déterminer la section de cuivre d'après cette seule condition que la chute de potentiel aux bornes des moteurs ne tombe pas au-dessous d'une valeur déterminée (en général 50 volts); cela conduit souvent à adopter des sections fort peu économiques au point de vue de la consommation d'énergie.

Cependant l'intensité des courants employés en traction est souvent bien plus grande qu'en éclairage et la durée du service est plus longue aussi.

Deux causes rendent le calcul des réseaux de tramways particulièrement délicat ; ce sont :

1° La variabilité des charges ;

2° Leur mobilité.

Dans une exploitation analogue à celle des chemins de fer, où les horaires sont nettement fixés, où la vitesse de déplacement est déterminée et régulière, où les arrêts se font en des points connus on peut évaluer avec une exactitude suffisante l'emplacement et la valeur des charges à un instant quelconque. Certaines lignes de tramways se trouvent dans des conditions analogues ; les départs ont lieu à intervalles réguliers ; la circulation charretière est assez faible pour que la vitesse des voitures de tramways ne s'écarte pas normalement de la valeur adoptée en principe, et pour que les arrêts n'aient lieu qu'en des points fixes.

Mais dans la plupart des cas, les conditions sont loin d'être aussi favorables. Non seulement l'encombrement de la circulation charretière peut forcer les voitures à s'arrêter à tout instant, à ralentir leur allure dans certaines parties du parcours, mais encore elle peut entraîner le rassemblement d'un plus ou moins grand nombre de véhicules en un même point de la ligne. Un accident, des causes locales peuvent de même entraîner un rassemblement de voitures de tramway. Considérons, par exemple, une ligne desservant un lieu de réunion publique, tel que théâtre, cirque, champ de courses, etc.; les jours de spectacle, principalement à l'heure de la sortie, une affluence extraordinaire de voyageurs se présentera ; pour rendre au public tous les services qu'il est en droit d'exiger, et pour réaliser le maximum de recettes, il faudra pouvoir écouler rapidement tout ce monde. Cela forcera à masser plusieurs voitures au point en question et à faire partir chacune d'elles aussitôt qu'elle sera complète ou à peu près. Certaines lignes de tramways réalisent ainsi le plus clair de leurs bénéfices. Le réseau de distribution doit alors être calculé de façon que, tout en satisfaisant à la loi de lord Kelvin pour le service normal, il n'entraîne

[1] Del Proposto. Sur le calcul des réseaux de tramways. *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 445, 5 septembre 1896.

pas une chute de potentiel telle, aux heures d'encombrement, que la force électromotrice aux bornes des moteurs tombe au-dessous de la limite qui lui est assignée par le fonctionnement de ces moteurs. Il arrive parfois que ces deux conditions ne peuvent être satisfaites simultanément, et l'on doit alors disposer les feeders de façon à assurer le service extraordinaire.

Admettons d'abord qu'on ait à calculer une ligne à trafic régulier.

La perte de puissance par effet de Joule dans les conducteurs, à un instant donné est $R_t I^2$; R_t étant la résistance du conducteur entre le point d'alimentation et la voiture à l'instant t et I_t, l'intensité du courant dépensé par la voiture à ce même instant. Comme la voiture se déplace, la résistance R_t varie à tout moment; d'autre part, l'intensité I_t varie aussi constamment dans de très grandes proportions.

Si l'on admet que pendant un instant très court Δt, ces deux grandeurs restent constantes, on pourra calculer la perte d'énergie $R_t I_t^2 \Delta t$, pendant cet intervalle de temps; en procédant ainsi pour tous les points de la ligne, on déterminera la perte totale d'énergie pendant le déplacement d'une voiture d'une extrémité de la ligne à l'autre et, par conséquent, la perte moyenne.

Si un certain nombre n de voitures sont en marche sur la même ligne, à un moment donné, elles se trouveront à des distances du point d'alimentation correspondant à des résistances R_1, $(R_1 + R_2)$, ... $(R_1 + R_2 + \ldots + R_n)$; elles dépenseront respectivement des courants d'intensités $I_1, I_2, \ldots I_n$; l'intensité dans la première section sera égale à la somme des intensités dépensées par toutes les voitures; la perte d'énergie correspondante sera $R_1 (I_1 + I_2 + \ldots + I_n)^2 \Delta t$; de même dans chacune des sections suivantes, la partie d'énergie serait $R_2 (I_2 + \ldots + I_n)^2 \Delta t$, $R_3 (I_3 + \ldots + I_n) \Delta t$, ... $R_n I_n^2 \Delta t$.

La perte totale d'énergie dans la ligne pendant l'instant Δt serait égale à la somme des quantités d'énergie perdues dans chacune des sections.

Comme les départs ont lieu à intervalles réguliers et que la vitesse de déplacement est considérée comme constante, les voitures se croisent en des points déterminés et les mêmes positions relatives des voitures se retrouvent périodiquement. On pourrait donc, d'après ce que nous venons d'expliquer, calculer la perte d'énergie dans la ligne pendant une période en tenant compte de la position respective des voitures à chaque instant et de l'intensité du courant dépensé par chacune d'elles dans les différentes positions qu'elle vient successivement occuper sur les voies.

M. del Proposto a expliqué très clairement dans l'article précité comment on pouvait appliquer pratiquement ces principes.

Cette méthode, cependant, exige qu'on évalue l'intensité du courant dépensé par chaque voiture en tous les points de son parcours et qu'on détermine la position relative des voitures sur la voie à tout instant. Cela entraîne à des calculs longs et pénibles et en outre, ne peut donner que des résultats approchés.

En effet, la puissance électrique nécessaire à la traction d'une voiture de tramways dépend du poids de cette voiture, du coefficient de résistance au roulement, de la vitesse, de la déclivité de la voie, du rendement du moteur électrique. Or, tous ces éléments sont variables et très difficiles à apprécier : le poids varie avec le nombre de voyageurs transportés; le coefficient de résistance au roulement avec l'état des rails : s'ils sont poussiéreux, humides, boueux ou couverts de neige, ce coefficient peut varier du simple au double, d'un jour au suivant; la vitesse est elle-même très variable, puisqu'elle dépend de la circulation charretière; le rendement du moteur est fonction de la puissance développée, c'est-à-dire, de toutes les conditions précédentes.

Quant à l'influence des rampes, elle serait plus facile à chiffrer si la vitesse de déplace-

ment pendant les montées restait la même qu'en palier ; elle serait alors très importante mais, en réalité, lorsque les déclivités sont de faible longueur, elles ont peu d'influence sur le débit moyen par voiture et par jour, même si leur inclinaison est assez raide. Cela tient aux raisons suivantes :

a. Il n'y a, en général, qu'une très faible partie des voitures qui se trouvent simultanément sur les montées ;

b. La vitesse en rampe est beaucoup plus faible qu'en palier, par suite des conditions mêmes de fonctionnement des moteurs électriques enroulés en série ;

c. Enfin, lorsque la déclivité est suffisante, les voitures qui descendent les pentes ne consomment aucun courant.

On conçoit donc que le calcul, si soigneusement qu'on le fasse, ne pourra conduire qu'à des résultats assez éloignés de ceux qu'on observe en pratique. Pour s'en convaincre, il suffit de comparer le diagramme de la consommation de courant établi par M. del Proposto (*L'Éclairage Électrique*, 5 septembre 1896, p. 350, pl. I, fig. 2 et 3), avec une courbe de débit relevée en pratique.

Dans ces conditions, il nous a semblé qu'on pourrait obtenir une approximation tout aussi satisfaisante en admettant que l'intensité du courant dépensé par une voiture reste constante pendant tout le parcours, sans tenir compte ni des arrêts ni des démarrages.

L'expérience a montré que, sur les réseaux à 500 volts, on peut admettre, en moyenne, les valeurs suivantes calculées d'après le débit total de l'usine divisé par le nombre de voitures en service :

TABLEAU I

Intensité du courant dépensé par des voitures de différents poids, sur des réseaux à 500 volts.

Par voiture d'un poids total de	Ampères.
5 à 6 tonnes	12,0
6 à 7 »	14,0
7 à 8 »	15,5
8 à 9 »	17,0
9 à 10 »	18,5

Au-dessus de 10 tonnes, on peut ajouter 1,4 à 1,5 ampères par tonne de poids supplémentaire.

Pour les raisons que nous avons données précédemment, nous ne tiendrons pas compte de l'influence des rampes. Si celles-ci étaient importantes et de grande longueur, il faudrait cependant augmenter le débit moyen par voiture.

Nous admettrons aussi que toutes les voitures se meuvent avec une vitesse constante et que les départs ont lieu à intervalles réguliers.

On peut dès lors évaleur très facilement l'influence du déplacement des voitures sur les pertes de charge en ligne et sur les pertes d'énergie par effet de Joule.

Considérons d'abord une seule voiture dépensant i ampères et se déplaçant avec une vitesse uniforme le long d'une ligne de longueur L dont la résistance est $R = \rho \frac{L}{s}$. Lorsque cette voiture sera à une distance $l = \frac{L}{n}$ du point d'alimentation, la chute de potentiel dans la ligne sera $e = \frac{R}{n} i$; lorsqu'elle sera à des distances $2l, 3l, \ldots nl$, les chutes de potentiel correspondantes seront $\frac{2R}{n} i, \frac{3R}{n} i, \ldots \frac{nR}{n} i$. La chute moyenne de potentiel sera donc :

$$e_{moy} = \frac{\Sigma e}{n} = \frac{Ri}{n^2}(1 + 2 + 3 + \ldots + n)$$
$$= \frac{Ri}{2} \times \frac{n+1}{n}.$$

Lorsque n devient très grand, c'est-à-dire si l'on considère toutes les positions occupées successivement par la voiture, cette expression tend vers la valeur $\frac{Ri}{2}$. Autrement dit, la chute moyenne de potentiel est la même que si une prise de courant d'intensité égale à $\frac{i}{2}$ était fixe à l'extrémité la plus éloignée de la ligne, ce qui était évident *a priori*.

La perte de puissance correspondante sera égale à $\frac{Ri^2}{2}$.

Supposons maintenant une ligne de longueur L sur laquelle se déplacent d'un mouvement uniforme deux voitures parties au même instant des deux extrémités de la ligne et se dirigeant l'une vers l'autre ; l'alimentation étant faite par une des extrémités de la ligne.

A l'origine des temps, une voiture est à la source, l'autre à l'extrémité opposée ; la perte est donc nulle pour la première et égale à $R\,i^2 = \frac{R\,(2\,i)^2}{4}$ pour la seconde. Au bout d'un certain temps t, les deux voitures se sont déplacées d'une longueur égale à vt ; la résistance entre la première et la source aura donc augmenté d'une quantité r, tandis qu'une diminution égale de résistance se sera produite entre la deuxième et la source ; dans la première section de la ligne, comprise entre la première voiture et la source, l'intensité du courant sera égale à $2\,i$; dans la seconde section, comprise entre les deux véhicules, elle sera égale à i, simplement.

La perte totale par effet de Joule sera donc égale à

$$r\,(2\,i)^2 + (R - 2\,r)\,i^2 = (R + 2\,r) \times \frac{(2\,i)^2}{4}.$$

La perte augmentera donc, au fur et à mesure que les voitures s'éloignent de leurs points de départ, jusqu'à ce que, pour $r = \frac{R}{2}$, elle atteigne son maximum égal à $\frac{R\,(2\,i)^2}{2}$. A cet instant, les deux véhicules se croiseront au milieu de la ligne ; ensuite, les mêmes positions relatives des voitures s'observeront, mais les pertes iront en diminuant au lieu d'augmenter. La perte moyenne, relative à l'ensemble du déplacement sera donc égale à $\frac{2}{3}\,R\,i$.

La chute de potentiel sera, à tout instant, égale à $\frac{R \times 2\,i}{2} = R\,i$.

Considérons enfin le cas où plusieurs voitures sont en marche sur la même ligne ou sur la même section d'une ligne donnée. Les départs ont lieu toutes les t secondes dans les deux directions ; la vitesse de déplacement est de v mètres par seconde ; la longueur de la ligne ou section est égale à $\left(\frac{n}{2} - 1\right) vt$ mètres.

Le nombre de voitures en service sera maximum lorsque, $a\,t$ secondes après l'origine des temps, une voiture démarrera à chaque extrémité de la ligne, et une voiture arrivera à chacune de ces extrémités ; en même temps, les autres voitures se croiseront deux à deux tous les $v\,t$ mètres. Si le nombre total de voitures est égal à n, il y aura donc $\frac{n}{2}$ voitures montantes et $\frac{n}{2}$ voitures descendantes ; la voie se trouvera divisée en $\frac{n}{2} - 1 = \frac{n-2}{2}$ sections de résistance égale chacune à $\frac{2\,R}{n-2}$, et, à l'extrémité la plus éloignée de chacune d'elles se fera une prise de courant égale à $2\,i$. Les deux premières voitures étant au point d'alimentation (usine ou jonction de feeder), n'entraîneront aucune perte ; dans chacune des sections suivantes, les intensités seront respectivement

$$(n-2)\,i,\ (n-4)\,i, \ldots\ldots [n - (n-2)]\,i = 2\,i.$$

La chute totale de potentiel sera donc égale à

$$\frac{2\,R}{n-2}\,i\,[(n-2) + (n-4) + (n-6) + \ldots + 4 + 2]$$
$$= \frac{4\,Ri}{n-2} \times \frac{n\,(n-2)}{8} = \frac{nRi}{2}.$$

c'est-à-dire qu'elle sera la même que si la moitié seulement de la charge $n\,i$ était concentrée à l'extrémité la plus éloignée de la ligne.

Quant à la perte de puissance par effet de Joule, elle sera égale à

$$\frac{2\,R}{n-2}\,i^2\ [(n-2)^2 + (n-4)^2 + \ldots + 4^2 + 2^2]$$
$$= Ri^2\,\frac{n\,(n-1)}{3}.$$

C'est aussi lorsque ce groupement des voitures sur la ligne est réalisé que la perte par effet de Joule est maxima.

En effet, les deux autres groupements principaux qu'on peut considérer sont les suivants :

a. Lorsque $\frac{t}{4}$ secondes se seront écoulées, c'est-à-dire un quart de période après que les voitures occupaient les positions précédentes, il n'y aura plus que $(n-2)$ voitures puisque deux véhicules seront arrivés aux extrémités de la ligne et qu'il n'y a eu aucun nouveau départ; ces $(n-2)$ voitures seront également espacées entre elles; la résistance entre deux voitures consécutives sera égale à $\frac{R}{n-2}$ et la résistance entre la première voiture et le point d'alimentation sera égale à $\frac{R}{2(n-2)}$. Les intensités dans chaque section seront $(n-2)i$, $(n-3)i, \ldots\ 2i$, i.

La perte totale sera donc égale à

$$Ri^2 \frac{2(n-2)^2+1}{6},$$

qui est évidemment plus petite que $Ri^2 \times \frac{n(n-1)}{3}$, puisque n est forcément positif.

b. Enfin, $\frac{t}{4}$ secondes plus tard, les $(n-2)$ voitures se croiseront encore deux à deux. Chacun des groupes de 2 voitures sera distant de $\frac{R}{\frac{n-2}{2}+1} = \frac{2R}{n}$ du groupe précédent; le premier sera lui-même distant de $\frac{2R}{n}$ de l'extrémité de la ligne. Dans la première section, l'intensité sera égale à $(n-2)i$; dans les suivantes, elle sera égale à $(n-4)i$, $(n-6)i, \ldots\ 4i$, $2i$; en sorte que la perte totale sera :

$$\frac{2R}{n} i^2 [2^2+4^2+\ldots+(n-4)^2+(n-2)^2]$$
$$= Ri^2 \frac{(n-1)(n-2)}{3};$$

1 expression qui est *a priori* plus petite que $\frac{n(n-1)}{3}$.

Lorsque des voitures occupent sur les voies des positions intermédiaires entre les trois positions principales que nous venons d'étudier, il est évident que les pertes par effet de Joule seront aussi comprises entre celles qu'indiquent les calculs précédents.

Comme nous avons admis pour l'intensité du courant dépensé par chaque voiture une valeur moyenne, tandis qu'en réalité cette intensité varie constamment, ce qui, à égalité d'énergie transmise, entraîne des pertes plus élevées, il convient d'adopter la valeur maxima trouvée plus haut, pour le calcul du réseau.

On substituera donc, dans la formule de lord Kelvin, à la valeur i du courant une valeur $i'\sqrt{\frac{n(n-1)}{3}}$.

Pour une seule voiture en marche, on aurait $i' = i' = \frac{i}{\sqrt{2}}$.

Pour deux voitures, on aurait $i' = i\sqrt{\frac{3}{2}}$.

Cette formule deviendra donc :

a. Pour une seule voiture :

$$s = i\sqrt{\frac{\rho t p}{2ma}};$$

b. Pour deux voitures :

$$s = i\sqrt{\frac{3\rho t p}{2ma}};$$

c. Pour un plus grand nombre de voitures :

$$s = i\sqrt{\frac{\rho t p n(n-1)}{3ma}}.$$

Si l'on admet que les conditions économiques de l'exploitation soient les mêmes que celles adoptées par M. del Proposto, c'est-à-dire que l'on ait :

$$\rho = \frac{1}{60}; \qquad t = 10^7;$$
$$p = \frac{0{,}0002}{3600}; \qquad m = 0{,}02;$$
$$a = 0{,}1,$$

on pourra dresser un tableau tel que le suivant qui donne les sections de cuivre les plus économiques à employer lorsque de 1 à 10 voitures sont en service sur une ligne. Ce tableau a été calculé en admettant que chaque voiture dépense 1 ampère; lorsqu'on connaît l'intensité du courant dépensé par les voitures employées, on obtiendra directement la section des conducteurs en multipliant le nombre d'ampères par la section

indiquée dans la seconde colonne du tableau en face du nombre de voitures en service sur la ligne considérée.

Il est évident que, les conditions économiques de l'exploitation variant d'une installation à l'autre, ces chiffres ne sont applicables qu'au cas particulier que nous avons admis.

TABLEAU II

Sections de cuivre nécessaires pour chaque ampère dépensé par voiture et pour différents nombres de voitures en service.

Nombre de voitures en service.	Sections de cuivre en mm².
1	2,93
2	3,05
3	4,30
4	5,55
5	6,80
6	8,05
7	9,30
8	10,55
9	11,80
10	13,05

A titre d'exemple, pour montrer l'application des formules que nous venons d'établir, nous les appliquerons aux installations que M. del Proposto avait étudiées dans l'article précité.

a. Une ligne de tramways longue de 1 700 m, alimentée à une de ses extrémités, est desservie par deux voitures pesant chacune 6 300 kg, y compris les voyageurs.

D'après ce que nous avons dit précédemment (tableau I), l'intensité du courant dépensé par voiture sera de 14 ampères environ.

Le tableau II nous donne immédiatement pour la valeur de la section :

$$s = 14 \times 2,63 = 36,8 \text{ mm}^2.$$

M. del Proposto trouvait par sa méthode $s = 35,6$ mm². La concordance de ces deux chiffres est remarquable.

b. 5 voitures pesant chacune 5 570 kg sont en marche sur une ligne longue de 2 220 m.

L'intensité (tableau I) sera d'environ 12 ampères.

En nous reportant au tableau II, nous voyons que, pour 5 voitures, la section par ampère est de 5,55 mm².

La section totale sera donc

$$s = 12 \times 5,55 = 66,6 \text{ mm}^2$$

M. del Proposto trouvait $s = 65$ mm².

En pratique, des considérations d'ordre mécanique conduisent à ne pas donner au fil à trôlet un diamètre ni trop petit ni trop grand. On emploie d'ordinaire les conducteurs suivants :

TABLEAU III

Diamètre, section et résistance des fils à trôlet.

Nos	Diamètre en mm.	Sections en mm².	Résistances en ohms par km à 20° C environ.
2	6,54	42,77	0,516
1	7,35	54,02	0,409
0	8,25	68,06	0,326
00	9,27	85,94	0,258

Dans le premier des deux exemples ci-dessus, on emploierait donc un fil n° 2 ; la résistance totale de la ligne serait $R = 1,7 \times 0,516 = 0,873$ ohm. La perte de charge moyenne dans la ligne serait donc $Ri = 0,873 \times 14 = 12,22$ volts. D'ailleurs sur un réseau d'aussi faible importance, l'intensité maxima, au moment des démarrages, est d'environ quatre fois l'intensité moyenne ; la perte de charge maxima serait donc d'environ 49 volts. Si l'on admet comme l'expliquait dernièrement M. A. Blondel [1], que la résistance des rails est d'environ 1/10 de celle du circuit aérien, la perte de charge serait, dans cette partie du circuit, de 4,9 volts. La perte totale serait donc de 53,9 volts.

Le calcul par la perte de charge aurait donc conduit, dans ce cas particulier à une valeur sensiblement égale à celle qu'indiquent nos formules.

Dans le second cas, on aurait adopté un fil n° 0, de 68,06 mm² de section. La résistance de

[1] A. Blondel. Distribution du courant de retour dans les tramways. *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 97, 18 juillet 1896.

la ligne aurait été $R = 0{,}326 \times 2{,}2 = 0{,}717$ ohms; la perte de charge moyenne aurait été de $\frac{0{,}717 \times 50}{2} = 21{,}5$ volts. L'intensité maxima serait ici égale à environ 2,5 ou 3 fois l'intensité moyenne. La perte totale maxima, en y comprenant celle qui se produit dans le circuit de retour serait donc d'environ 60 volts. La méthode ordinaire de calcul par la perte de charge aurait donc conduit ici encore à une section sensiblement égale.

Il faut remarquer que l'usage, dans la pratique des tramways électriques, est d'employer des machines hypercompound, en sorte que, lorsque la charge augmente, la force électromotrice aux bornes de la génératrice augmente elle-même. On peut donc tolérer une chute de potentiel maxima supérieure à 50 volts. Les génératrices pour tramways sont généralement enroulées de façon à donner 500 volts dans les conditions normales et 550 volts au maximum [1].

Lorsqu'une dynamo donnée n'alimente qu'une seule ligne, il est facile d'évaluer avec une approximation suffisante quelle sera la force électromotrice disponible aux bornes de cette dynamo étant donné l'état du trafic sur la ligne. Mais lorsque plusieurs lignes ayant des trafics différents sont alimentées par une même génératrice ou par plusieurs génératrices couplées en dérivation, il faut évaluer la charge totale sur l'ensemble du réseau, à un moment donné pour connaître la force électromotrice correspondante dont on pourra disposer. Cette évaluation est souvent assez difficile.

Il faut que, dans aucun cas, la différence de potentiel aux bornes des moteurs ne tombe au-dessous de 400 volts comme dernière limite — bien entendu, cette valeur ne doit être acceptée que pour des cas exceptionnels, — lorsque la charge sur les lignes atteint une intensité anormale, comme en cas d'encombrement; la force électromotrice aux bornes de la génératrice, est alors bien près de 500 volts en général, en sorte qu'on peut tolérer une chute de potentiel de près de 150 volts dans le circuit.

Si la chute de potentiel dans une ligne calculée en vue de la plus grande économie pour le service moyen devait dépasser la valeur ci-dessus, ou même si elle devait atteindre une valeur importante pendant de longues périodes, il faudrait soit renforcer la ligne aérienne par des câbles distributeurs, soit employer des feeders.

La méthode précédente se prête également bien au calcul des lignes alimentées par des feeders. Les lignes de tramways offrent même sur les lignes d'éclairage cet avantage que la chute de potentiel admissible sur les premières lignes étant plus considérable que sur les secondes, on peut calculer aussi les fils de service d'après la loi de Kelvin.

La première chose à faire est de choisir la section du fil à trôlet. Ce choix dépend, comme nous l'avons déjà dit, de considérations mécaniques plus encore que de considérations électriques.

Lorsqu'on connaît cette section s, comme on connaît aussi la densité économique du courant, on peut facilement déterminer l'intensité du courant qu'il est possible de transmettre avec cette ligne et, partant, le nombre de voitures qu'elle peut alimenter. Sur une ligne à trafic régulier, la distance qui sépare 2 voitures consécutives étant connue, on voit que l'écartement des feeders est immédiatement donné par ce calcul.

Admettons, par exemple, une ligne longue d'environ 5 000 m sur laquelle sont régulièrement réparties 16 voitures. Cette ligne, dont la forme peut être quelconque, fait partie du réseau d'une ville et est alimentée par une station centrale. Chaque voiture dépense en moyenne 15 ampères. La ligne est à double voie et, en raison de l'intensité du trafic, on a adopté des fils à trôlet n° 00, dont la section (tableau III) est de 85,94 mm².

[1] On emploie aussi souvent des dynamos donnant 550 volts en service normal et 605 ou 610 volts au maximum.

En se reportant au tableau II, on voit que chacun de ces conducteurs suffit pour alimenter 5 voitures, car on a $5,55 \times 15 = 83,25$ mm², alors que la section du conducteur est de 85,94 mm². Comme il y a 8 voitures sur chacune des voies, elles sont éloignées les unes des autres de $\frac{5\,000}{8} = 625$ m. Les feeders devraient donc être espacés de $625 \times 5 = 3125$ m environ. Dans ce cas, particulier, la longueur de la ligne n'étant que de 5 000 m, un seul feeder aboutissant au milieu de la ligne satisferait complètement aux conditions prévues. Ce point, correspondant au centre de gravité des charges réparties sur la ligne, serait le plus favorable.

On pourrait aussi avec avantage réunir électriquement les deux fils à trôlet de distance en distance, afin de mieux utiliser la conductibilité du cuivre employé et obtenir une meilleure répartition des charges.

Lorsqu'une section donnée d'une ligne est alimentée à ses deux extrémités par des feeders, il est évident que le nombre de voitures qui peuvent être mises en service sur cette section est double de celui qu'on aurait dû adopter si l'alimentation n'était faite qu'à une seule extrémité.

Le calcul de la section des feeders se fera de même; mais la mobilité des charges n'intervenant plus, on appliquera la formule ordinaire de lord Kelvin.

Une grande partie des lignes de tramways électriques sont établies par sections isolées les unes des autres; chaque section est alimentée par un feeder qui aboutit vers sa partie médiane. L'intensité du courant à transmettre dans le feeder est alors nettement déterminée; elle est égale à la somme des intensités des courants dépensée par toutes les voitures en service sur cette section. Dans le cas précédent, il y aurait 4 voitures montantes et 4 voitures descendantes de chaque côté du point d'alimentation, soit en tout 16 voitures. L'intensité du courant à transmettre serait donc de 240 ampères. La section du feeder devrait donc être de 516 mm² environ [1].

L'emploi des sections isolées offre l'avantage que si un accident se produit sur l'une quelconque d'entre elles, les autres n'en sont pas affectées et que les réparations peuvent être facilement faites. Mais il conduit à une très mauvaise utilisation du cuivre; en outre, si un encombrement de voitures vient à se produire en un point quelconque de la ligne, la demande anormale de courant qui en résulte entraîne une chute de potentiel énorme dans les lignes et le fonctionnement des moteurs peut s'en ressentir; le service cesse alors d'être régulier.

Aussi, tend-on de plus en plus à adopter une méthode toute différente et plus logique. La voie est toujours divisée en sections, mais toutes celles-ci sont réunies entre elles au moyen de plombs fusibles et d'interrupteurs, de façon qu'en temps normal on puisse profiter de toute la conductibilité du cuivre, tandis qu'en cas d'accident la section où se produit le court-circuit soit isolée automatiquement. On peut aussi isoler une section quelconque de ses voisines et de la source, au moyen des interrupteurs, lorsque des réparations ou les nécessités du service l'exigent.

Non seulement on réunit les sections du fil de service entre elles, mais on réunit aussi les feeders entre eux, par des conducteurs fusibles et des interrupteurs, à leurs points de croisement et aux points où ils divergent les uns des autres. De la sorte, on diminue dans de très grandes proportions les variations d'intensité du courant dans les feeders, ce qui diminue les pertes par effet de Joule; celles-ci sont encore atténuées par ce qu'on utilise ainsi toute la section du cuivre disponible entre deux points quelconques du réseau. Enfin, en cas d'encombrement en un point des

[1] M. del Proposto a admis un prix élevé du courant : 0,20 fr le kilowatt-heure. C'est ce qui explique la forte section à laquelle on est conduit.

lignes, la section correspondante se trouve alimentée par tous les feeders; la perte de charge atteint alors rarement une valeur telle que le fonctionnement des moteurs cesse d'être satisfaisant.

Cette méthode a été appliquée avec succès, notamment par M. Rau sur le réseau des tramways de Milwaukee et par M. Burch sur le réseau des tramways de Minneapolis et de Saint-Paul (1). Ce dernier a publié les dia-

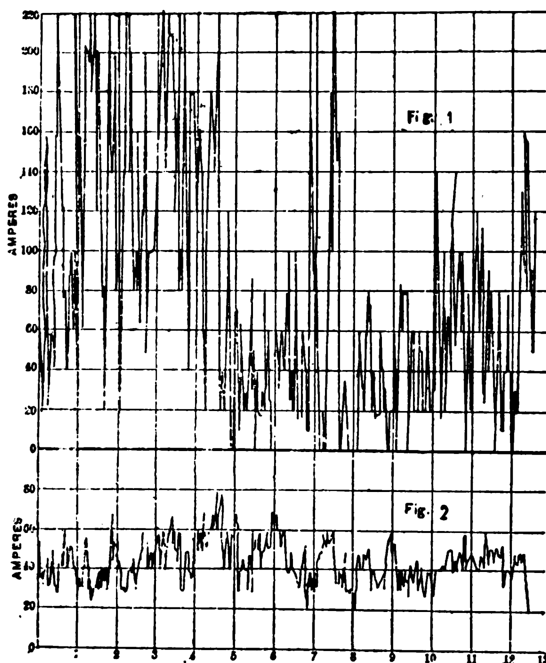


Fig. 1 et 2. — Diagrammes de charge sur le feeder de l'avenue Hennepin, à Minneapolis, par sections isolées et par réseau égalisé.

grammes suivants (fig. 1 et 2) qui montrent clairement tout l'avantage qu'on peut en retirer. Ils représentent les variations de charge sur le feeder n° 14 (avenue Hennepin).

La figure 1 se rapporte aux variations d'intensité sur ce feeder avec l'ancien procédé de distribution par sections isolées et la figure 2 aux mêmes variations avec le procédé de distribution par réseau égalisé. Dans le premier cas, l'intensité du courant variait entre 0 et 220 ampères.

(2) BURCH. Économie des conducteurs employés dans la transmission du courant électrique dans la traction. *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 117, 19 octobre 1895.

En adoptant ce système de distribution, sur un réseau important, la tension aux bornes des moteurs variera relativement peu quelles que soient les modifications du trafic. Les feeders étant calculés comme nous l'avons expliqué précédemment pour le cas des sections isolées pourront satisfaire à un accroissement momentané du service et à son développement normal pendant une période assez longue.

Lorsque le réseau ne comprend qu'un faible nombre de lignes, ce système, tout en étant toujours très favorable, ne procure évidemment plus des avantages aussi considérables au point de vue de la chute de potentiel en cas d'encombrement, de rampes, etc., en un point donné; il faut alors, suivant les circonstances, soit diminuer l'espacement des feeders, soit renforcer la partie correspondante de la ligne aérienne par des câbles distributeurs; soit, parfois même, employer l'un et l'autre de ces procédés. La solution à adopter dépend des circonstances spéciales à chaque cas particulier; sa détermination est souvent très délicate et demande à la fois beaucoup de soins, d'intelligence et d'habitude.

G. PELLISSIER.

REVUE INDUSTRIELLE

ET DES INVENTIONS

Ampèremètre Kelvin (1896).

La tige de fer B, (fig. 1 et 2) qui constitue l'armature du solénoïde A, traversé par le courant à mesurer, est suspendue directement en C à l'arc *d* du balancier D, réglable en H I, pivoté sur couteaux en F F, et qui porte en E l'aiguille G, dont les mouvements sont

amortis par un dash-pot, constitué soit par un plan L, mobile dans un liquide au bout du bras K de E, soit par un piston N, attaché à B par une tige de bronze M et qui se

Fig. 1 et 2. — Ampèremètre Kelvin.

déplace verticalement dans un cylindre à huile.

Thermomètre électrique Burstall (1896).

Le fil p (fig. 1 et 2) dont la résistance indique la température, est enroulé sur des isolants $m\,m$, à écartement réglable sur les montants $s\,s$, qui amènent le courant au fil en $t\,t$, et pourvu en $x\,x$ de garnitures permettant l'emploi de l'appareil sous pression ou dans le vide.

Fig 1 et 2. — Thermomètre électrique de Burstall.

Couvre-joints Felten et Guilleaume (1895).

Ces couvre-joints se composent (fig. 1 et 2) d'un tube de caoutchouc $a\,d$ et d'un raccord,

Fig. 1 et 2. — Couvre-joints Felten et Guilleaume.

aussi en caoutchouc, $b\,d'$, enfilés aux extrémités des câbles à joindre $c\,c$, puis, le joint fait, emboîtés, soudés entre eux et sur $c\,c$.

Sur une propriété des moteurs asynchrones;

Par A. Potier (1).

« Dans la théorie des moteurs dits *asynchrones*, ou à *induit fermé*, on suppose implicitement que l'intensité du champ produit dans l'entrefer par l'un des circuits inducteurs varie suivant une loi sinusoïdale en fonction de l'angle $p\theta$, si θ désigne la distance angulaire du point de l'entrefer considéré à l'un des points neutres, et $2p$ le nombre de pôles. C'est la condition nécessaire et suffisante pour que le champ résultant du passage des courants polyphasés dans les circuits inducteurs puisse être considéré comme un champ tournant, restant semblable à lui-même, avec une vitesse angulaire $\frac{2\pi}{pT} = \omega_1$ (T = période des courants inducteurs); dans ces conditions, si l'induit est animé d'une vitesse angulaire ω_2, il est soumis à un couple accélérateur d'origine électro-magnétique, dont la valeur est

$$C = \frac{A\mathcal{H}_1^2(\omega_1 - \omega_2)}{\alpha^2 + (\omega_1 - \omega_2)^2}.$$

$\mathcal{H}$ est l'intensité maximum du champ créé par

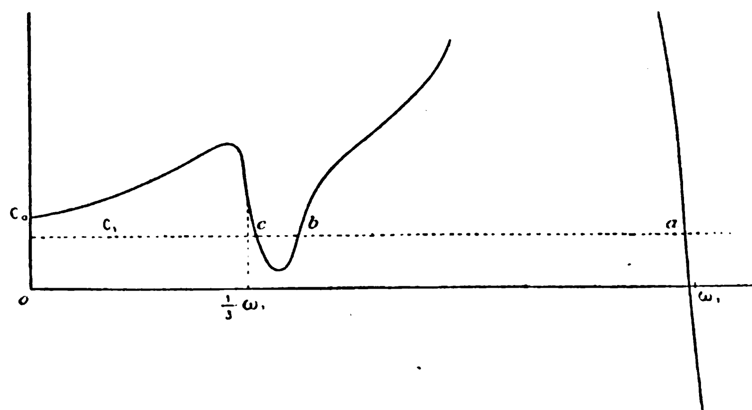


Fig. 1.

les inducteurs, A et α deux constantes dépendant des dimensions de l'appareil.

» Mais les enroulements inducteurs sont ordinairement disposés sans avoir égard à la condition supposée, et l'intensité du champ produit par un des inducteurs est en réalité $\mathcal{H}_1 \sin p\theta + \mathcal{H}_3 \sin 3\,p\theta, \ldots$, de sorte que, lorsque les courants polyphasés excitent l'inducteur, le champ est la superposition de champs sinusoïdaux, d'intensité maximum $\mathcal{H}_1, \mathcal{H}_3, \ldots$, tournant avec les vitesses angulaires $\omega_1, \frac{\omega_1}{3}, \frac{\omega_1}{5}, \ldots$, et le couple devient

$$C = A^1\left[\frac{\mathcal{H}_1^2(\omega_1 - \omega_2)}{\alpha^2 + (\omega_1 - \omega_2)^2} + \frac{3\mathcal{H}_3^2(\omega_1 - 3\omega_2)}{9\alpha^2 + (\omega_1 - 3\omega_2)^2} + \ldots\right].$$

» Le premier terme seul considéré ordinairement, négatif si $\omega_2 > \omega_1$, devient positif si $\omega_1 > \omega_2$, et croît tant que ω_2 est supérieur à $\omega_1 - \alpha$, pour diminuer ensuite avec ω_2; le second terme suit une loi analogue : négatif et très faible pour les grandes valeurs de ω_2, il devient minimum pour $3\,\omega_2 = \omega_1 + 3\,\alpha$, s'annule pour $\omega_1 = 3\,\omega_2$ passe par un maximum positif pour $3\,\omega_2 = \omega_1 - 3\,\alpha$, et décroît quand ω_2 tombe au-dessous de cette valeur. Autrement dit, si l'on tient compte de ce que α est toujours une faible fraction de ω_1, la courbe dont C est l'ordonnée et ω_2 l'abscisse, ascendante depuis $\omega_2 = \alpha$ jusque vers $\omega_2 = \frac{1}{3}\omega_1 - \alpha$, tombe rapidement entre $\omega_2 = \frac{1}{3}\omega_1 - \alpha$ et $\frac{1}{3}\omega_1 + \alpha$, se relève jusque vers $\omega_2 = \omega_1 - \alpha$ pour retomber vers o et avoir une ordonnée négative pour ω_2 égal ou supérieur à ω_1.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 538, 15 mars 1896.

» Par suite, si l'on donne au couple résistant une valeur C_1 inférieure au couple C_0 correspondant à $\omega_2 = 0$, et permettant au moteur de démarrer, il correspondra à cette valeur C_1 tantôt une, tantôt trois valeurs de ω_2; dans ce dernier cas, il ne conviendra toutefois que deux vitesses au régime stable, qui seront la plus grande *a* et la plus petite *c* des racines de l'équation $C = C_1$; pour la racine intermédiaire, dC et $d\omega_2$ sont de même signe, et le régime, s'il pouvait s'établir, serait instable; au contraire, à la vitesse *c* comme à la vitesse *a*, le moteur pourra supporter une surcharge sans s'arrêter.

» La valeur minimum de C_1, correspondant à deux régimes stables, dépend des valeurs des coefficients $\mathcal{H}_1$ et $\mathcal{H}_2$; elle sera négative, pour les petites valeurs de α lorsque la condition

$$\mathcal{H}_3^2 > \mathcal{H}_1^2 \frac{3a}{\omega_1}$$

sera vérifiée; il y aura alors deux vitesses de régime à vide. Le rapport de $\mathcal{H}_3$ à $\mathcal{H}_1$ dépend surtout du rapport de l'espace occupé par les champs de chaque circuit inducteur à la circonférence totale de l'armature; lorsque ce dernier rapport est $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$ et 1, le premier est $\frac{2}{3}$, 0 et $\frac{1}{3}$. Lorsque l'armature n'est pas construite en cage d'écureuil et porte plusieurs bobines, il suffit de grouper celles-ci en série pour diminuer la valeur de α et rendre possibles deux vitesses de régime sous faibles charges. »

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur la décharge par étincelle et le fonctionnement de l'excitateur de Hertz;

Par Swyngedauw [1].

« La résistance de l'étincelle, si elle peut être considérée comme une résistance de corps mauvais conducteur, dépend de la longueur, la section, la température (dont elle est fonction décroissante) et de la nature du conducteur lumineux qui constitue l'étincelle.

» Dans la décharge d'un condensateur dans un circuit métallique déterminé interrompu par une étincelle, pour que la résistance totale du circuit atteigne la valeur critique au-dessous de laquelle les oscillations deviennent possibles, il faudra dépenser une quantité d'énergie w bien déterminée pour échauffer l'étincelle à la température θ qui correspond à cette résistance critique.

» Cette quantité w peut être supérieure ou inférieure à l'énergie potentielle initiale W du condensateur.

» Si $w > W$, les oscillations sont possibles; si $w > W$, les oscillations sont impossibles, W étant donné par la relation $W = \frac{1}{2} CV^2$, où C est la capacité du condensateur, V le potentiel auquel on l'a chargé.

» Si on laisse V constant et que l'on diminue, d'une façon continue, la capacité du condensateur, il arrive un moment où W sera inférieur à w, de sorte que *la décharge d'un condensateur oscillatoire, pour les grandes capacités, deviendra continue pour des capacités suffisamment faibles;* c'est une conséquence contraire à celle que l'on déduit de la théorie de Thomson, où l'on suppose la résistance constante.

» L'excitateur de Hertz est un condensateur de faible capacité; les considérations précédentes lui sont applicables.

» Une décharge isolée de l'excitateur de Hertz ne présente pas de caractère oscillatoire. Pour que les décharges du vibrateur exercent une action sensible sur un résonateur, il faut qu'elles se succèdent avec une certaine fréquence et que l'appareil soit en activité depuis un certain temps. Ces faits se conçoivent très bien si l'on admet que la température de l'étincelle doit dépasser une certaine valeur θ pour que les oscillations soient possibles.

[1] *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 556, séance du 15 mars 1897.

» Cette température θ, qui n'est pas atteinte dans une décharge isolée où la température initiale de l'étincelle est la température ordinaire, pourra être dépassée si l'appareil fonctionne avec une fréquence et depuis un temps suffisants pour que la température initiale de l'étincelle dépasse la température ordinaire d'une quantité telle que, dans chaque décharge, l'étincelle atteigne une température supérieure à θ [1].

» On s'explique de la même façon certaines expériences dans lesquelles on fait perdre à la décharge de l'excitateur le caractère oscillatoire en recouvrant les pôles d'une mince couche d'eau [2], ou en allongeant la distance explosive sous l'action de la lumière ultraviolette [3], ou en prenant pour pôles des surfaces à trop forte courbure [4], ce qui revient en somme à augmenter w sans augmenter dans la même proportion W.

» Supposons maintenant l'excitateur de Hertz placé et excité dans des conditions telles que sa décharge soit oscillatoire. Quelle est la nature de ces oscillations?

» Si l'on se rappelle qu'une décharge isolée de l'excitateur de Hertz ne présente pas de caractère oscillatoire, il est probable que, même avec un excitateur fonctionnant très bien, la résistance totale du circuit du vibrateur ne tombe au-dessous de la résistance critique qui ne permet les oscillations qu'après la dépense d'une fraction assez notable de l'énergie de chaque décharge.

» Désignons par R_c la résistance critique définie par la relation

$$\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2} = 0,$$

où R, L, C sont la résistance, la self-induction et la capacité du vibrateur; soit R_n la résistance au-dessous de laquelle le terme $\frac{R^2}{4L^2}$ est négligeable devant $\frac{1}{LC}$.

» Pendant que la résistance passe de la valeur R_c à la valeur R_n, la période d'oscillation [1], définie par la relation $T = \frac{\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}$, passe d'une valeur infinie à la valeur normale $T = \pi\sqrt{LC}$.

» Il est probable que, pendant cette durée, la décharge, de l'excitateur a exécuté plusieurs oscillations, en raison même de la faible capacité et de la très petite période d'oscillation T_n du vibrateur.

» Si, dans cette décharge à résistance variable, on appelle *période* la durée qui sépare deux zéros consécutifs de l'intensité, on pourra énoncer ce résultat: *Dans chaque décharge, l'excitateur de Hertz émet successivement des vibrations de périodes décroissantes jusqu'à la période normale* $T_n = \pi\sqrt{LC}$.

» Ces considérations précisent une opinion de MM. Sarasin et de la Rive [2], d'après laquelle l'excitateur émettrait un spectre de vibrations de périodes différentes.

» Ces auteurs avaient émis cette idée pour expliquer la *résonance multiple* et le fonctionnement du résonateur. Depuis, M. H. Poincaré [3] et M. Bjerkness [4] ont donné la théorie de ce phénomène, en supposant que la vibration de l'excitateur a une forme pendulaire très amortie.

» Si certains faits ne cadrent pas entièrement avec cette théorie, c'est que l'hypothèse faite sur le mouvement de l'électricité dans le vibrateur ne correspond pas entièrement à la réalité; les considérations précédentes montrent dans quel sens il faut la généraliser. »

(1) Hertz expliquait le fonctionnement de son excitateur par des raisonnements analogues (*Ausbreitung electrischer Kraft*, p. 42), mais il attribuait un rôle plus considérable à la bobine de Ruhmkorff.

(2) TOPLERS, *Wied. Ann.*, t. XLVI, p. 465.

(3) E. VIEDEMANN et EBERT, *Wied. Ann.*, t. XLIX, p. 13.

(4) HERTZ, *Wied. Ann.*, t. XXXI, p. 421 et *Ausbreitung Electrischer Kraft*, p. 35.

(1) Cette formule n'est pas vigoureusement vraie pour les circuits à résistance variable (Voir PÉTROVICH, *Comptes rendus*, p. 452, mars 1897; *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 518, 13 mars 1897.

(2) *Archives des Sciences physiques de Genève*, t. XXIII, p. 113.

(3) *Électricité et Optique*, Carré, éditeur, 1891.

(4) *Wied. Ann.*, t. XLIV, p. 75.

Sur les propriétés conductrices que communiquent à l'air les rayons Rœntgen et la lumière ultra-violette ;

Par Lord Kelvin, Dr Beattie et Dr Smoluchowski [1].

1. *Action des rayons* X *sur un métal électrisé.* — Le métal, pris sous la forme d'une tige mince, est isolé et relié à un des couples de quadrants d'un électromètre; il est supporté par des cales de paraffine protégées contre les rayons et placé dans l'axe d'un cylindre d'aluminium dont une extrémité est fermée, tandis que l'autre s'engage dans un cylindre de plomb qui fait partie d'une enveloppe métallique continue dans l'intérieur de laquelle se trouve l'électromètre; le second couple de quadrants est relié à l'enveloppe.

On donne successivement au métal des charges de signe contraire et on produit les rayons X jusqu'à ce que l'aiguille se fixe ; on recommence la même expérience avec le métal primitivement à l'état neutre. La position définitive de l'aiguille est ce que les auteurs appellent le *zéro des rayons (rays-zero);* le *zéro métallique* est la position d'équilibre atteinte quand le métal à l'état neutre est relié à l'électromètre.

Avec du zinc amalgamé, sans charge à l'origine, la déviation atteint sous l'action des rayons X (1 volt correspond à 140 divisions) :

— 72 divisions	au bout	de	5	secondes.
— 87	»	»	10	»
— 91	»	»	15	»
— 92	»	»	30	»
— 93	»	»	2	minutes.

1 volt = 140 divisions.

Voici les valeurs définitives atteintes, pour différents métaux isolés :

Mg, ruban	— 0,671	volt.	
Zn, amalgamé	— 0,66	»	
Al, poli	— 0,465	»	
Zn, poli	— 0,343	»	
Al, non poli	— 0,349	»	+ 0,35.
Pb, poli	— 0,257	»	
Cu, poli	+ 0,129	»	
Fe, clou poli	+ 0,182	»	
Pd, fil	+ 0,255	»	
Au, fil	+ 0,264	»	+ 0,93.
C	+ 0,429	»	

Les deuxièmes valeurs données pour Al et Au ont été obtenues après polissage de la paroi intérieure du tube d'aluminium.

Ces résultats sont très voisins de ceux qu'a obtenus M. Erskine Murray (Société Royale, 19 mars 1896). Ils sont analogues à ceux qu'ont observés pour la lumière violette Righi, Hallwachs, Elster et Geitel, Branly, etc.

2. *Action de la lumière ultra-violette sur un métal électrisé.* — Le métal est pris sous la forme d'un disque qu'on place sur un bloc de paraffine ; le cylindre d'aluminium est remplacé par une toile métallique. Avec du zinc poli, primitivement sans charge, la déviation a atteint en 4 minutes — 101 div.; en communiquant des charges de signe contraire on a vu successivement la déviation passer de + 219 à — 103 en 4 minutes et de + 238 à — 111 en 3 minutes, pour rester ensuite stationnaire. La différence entre le zéro métallique et le *zéro des rayons ultra-violets* est donc de — 101 div. (0,72 volt).

Voici les valeurs de cette différence pour divers métaux.

Zn, poli	— 0,75	volt.
Al, poli	— 0,66	»
Maillechort	— 0,19	»
Laiton doré	+ 0,04	»
Cu, poli	+ 0,12	»
Cu, oxydé	+ 1,02	»

La vitesse de déperdition, en prenant pour origine le zéro des rayons ultra-violets, est indépendante du signe de la charge du métal.

3. *Les rayons ultra-violets sont parallèles aux surfaces métalliques.* — Un disque de cuivre oxydé D, relié à l'électromètre, est placé vis-à-vis d'une lame d'étain formant le fond d'un cylindre B qui enferme le disque et fait partie de l'enveloppe de l'électromètre. Les rayons émis par l'arc A traversent une fente de 4 cm de long sur 1 cm de large parallèle au plan

[1] *Société Royale d'Edimbourg*, 1er février.

du disque, de façon qu'ils ne puissent rencontrer aucune des surfaces métalliques. On observe que 1° le zéro des rayons ultra-violets coïncide avec le zéro métallique ; 2° qu'une charge négative du disque se conserve ; 3° qu'une charge positive se perd très lentement (4 div. par minute pour une déviation initiale de 197).

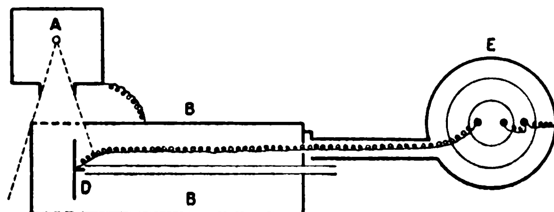


Fig. 1.

Si l'on fait tourner la fente de 90°, de façon à éclairer le disque de cuivre, on voit le zéro se déplacer de 1 div. par minute environ. La vitesse de déperdition est de 4 div. par minute pour une charge initiale de + 202 et de 3 div. pour — 246 div. comptées à partir du zéro métallique.

Quand les rayons ultra-violets rencontrent simultanément les deux surfaces, la déviation finale dépend de leur distance. Elle a atteint les valeurs suivantes :

	Distance.	Temps.
150	4,3 cm	4 mm.
134	3,0 »	9 »
121	2,0 »	5 »
102	1,0 »	5 »
86	0,6 »	5 »
169	4,0 »	10 »
161	5,0 »	5 »
199	7,0 »	5 »

Cette influence de la distance a été découverte par Righi.

4. *Les rayons Rœntgen frappent deux surfaces métalliques.* — En répétant l'expérience précédente avec les rayons X, on trouve que la déviation des rayons X est à peu près indépendante de la distance. On trouve pour le cuivre oxydé :

	Distance.
+ 23,5	1,2 cm.
+ 25,0	2,2 »
+ 23,0	3,8 »
+ 23,0	6,0 »

et pour le zinc poli :

	Distance.
— 82	1 cm.
— 79	1,5 »
— 81	3,0 »
— 90	7,0 »
— 90	7,5 »

La valeur finale est atteinte en 15 secondes environ.

5. *Les deux surfaces métalliques en regard sont de même nature.* — On cherche à réaliser cette condition en recouvrant le disque de cuivre oxydé d'une feuille d'étain ; cette feuille est beaucoup plus unie que celle qui lui fait face.

Quand les rayons ultra-violets tombent sur le métal isolé seul, le zéro se fixe à + 53 div. du zéro métallique. Une charge positive ou négative se perd lentement. Si la feuille non isolée est seule atteinte, il n'y a pas de déperdition.

Quand les deux surfaces métalliques sont atteintes, les charges se perdent et la distance des zéros atteint — 152 div. Cette différence tombe à — 30 après une nuit.

Ces expériences ont été répétées avec les rayons X. Quand les deux métaux sont atteints, il y a une déperdition rapide des charges et la distance des zéros atteint — 5 div. Cette valeur se conserve, mais la déperdition devient beaucoup moins rapide quand le disque isolé est seul frappé par les rayons.

La distance des zéros atteint + 25 div. quand les rayons X traversent, non plus une feuille d'étain, mais une feuille d'aluminium, avant d'atteindre le disque isolé.

En employant un disque isolé de zinc poli et en ne laissant passer les rayons qu'à travers l'air qui sépare les deux surfaces distantes de 7 cm, on observe les déviations suivantes :

— 276	divisions	au bout de	1	minute.
— 265	»	»	2	»
— 255	»	»	3	»
— 243	»	»	4	»
— 227	»	»	5	»
— 214		»	6	»
— 184	»	»	8	»

On décharge alors le zinc et on fait de nouveau agir les rayons; on observe

— 4	divisions au bout de		0,5	minute.
— 13	»	»	1,5	»
— 41	»	»	2,5	»
— 53,5	»	»	3,5	»
— 61	»	»	4,5	»
— 67	»	»	5,5	»
— 70,5	»	»	6,5	»
— 71	»	»	7	»

La différence des deux zéros atteint — 71 div. ou 0,5 volt.

En laissant alors tomber les rayons simultanément sur les deux surfaces, on trouve une différence de — 89 div. atteinte au bout d'un quart de minute. Ces résultats sont d'accord avec ceux de M. Erskine Murray.

C. R.

Électrodynamomètre de Helmholtz;

Par K. Kahle [1].

Action d'un ruban tendu en rectangle sur une bobine de section circulaire;

Par W. Wien [2].

L'électrodynamomètre de Helmholtz appartient à la catégorie des électrodynanomètres-balances. Il se distingue des appareils de ce genre déjà en usage par quelques détails de construction et aussi par la forme de la bobine normale qui sert à déterminer la constante de l'instrument en valeur absolue.

I. *Construction de l'appareil.* — La bobine normale est constituée par deux rubans de cuivre larges de 22 mm et épais de 0,1 mm, dont chacun forme les deux côtés adjacents d'un rectangle ayant respectivement 56 et 61 cm de longueur (fig. 1). Ce rectangle est fixé à ses quatre sommets sur un cadre rectangulaire: deux sommets opposés sont arrondis; les deux autres sont à arête vive. Aux sommets arrondis le ruban passe sur des cylindres de verre fixés au cadre, au moyen de trois vis qui peuvent être déplacées. Le courant arrive par l'un des angles vifs et sort par l'autre. En ces points les rubans passent dans une pince qui peut se déplacer dans la direction de la diagonale du rectangle; les deux rubans sont isolés l'un de l'autre par une feuille de mica et des mâchoires de la pince par du papier paraffiné.

Pour éviter que le rectangle ne se déforme lorsqu'on déplace les pinces, les rubans avant d'entrer dans la pince traversent une fente, qui peut indépendamment de la pince se déplacer dans la direction de la diagonale et dans la direction perpendiculaire. Les rubans sont partout isolés l'un de l'autre sauf dans la fente où ils se touchent lorsque la fente est fermée; mais ce contact est supprimé quand on ouvre la fente. Le support du rectangle est fixé sur une plaque de laiton qui repose elle-même sur deux glissières placées l'une au-dessus de l'autre : ces deux glissières peuvent se déplacer perpendiculairement l'une à l'autre au moyen de mouvements micrométriques. Dans la glissière supérieure est plantée une broche autour de laquelle peut tourner le plateau de base du rectangle.

II. *Électrodynamomètre.* — La partie mobile qui forme balance se trouve dans une cage de balance, les deux moitiés de la bobine fixe sont appliquées contre les parois de la cage, elles sont d'autre part fixées au fond de la cage qui est formé d'une forte feuille de laiton. Ce fond repose sur un trépied allongé et peut tourner autour d'un axe vertical. La bobine mobile repose sur le fléau de la balance, qui en son milieu forme un plateau carré horizontal et se termin par deux tiges minces. Dans la surface de ce plateau est ménagé un enfoncement circulaire, où pénètre exactement la joue de la bobine; deux goupilles permettent de placer toujours la bobine dans la même position.

Le fléau est en son milieu fixé sur un segment d'anneau en aluminium dont l'axe est perpendiculaire à la longueur du fléau. Le segment d'anneau est coupé en deux parties isolées l'une de l'autre, par une section perpendiculaire à son axe. Au centre du plateau se

[1] *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 532-575.
[2] *Wied. Ann.*, t. IX, p. 523-532.

trouve une tige d'aluminium filetée, sur laquelle se déplace un poids curseur destiné au réglage. Toutes ces pièces sont aussi légères qu'on peut les faire sans nuire à leur rigidité.

Au plafond de la cage sont fixés deux rubans d'argent larges de 3 mm, épais de 0,005 mm parallèles entre eux et faisant avec la verticale un angle de 58° environ : ces rubans passent sous les segments d'anneau et servent à supporter le fléau et en même temps à faire passer le courant : le fléau roule sur ces rubans.

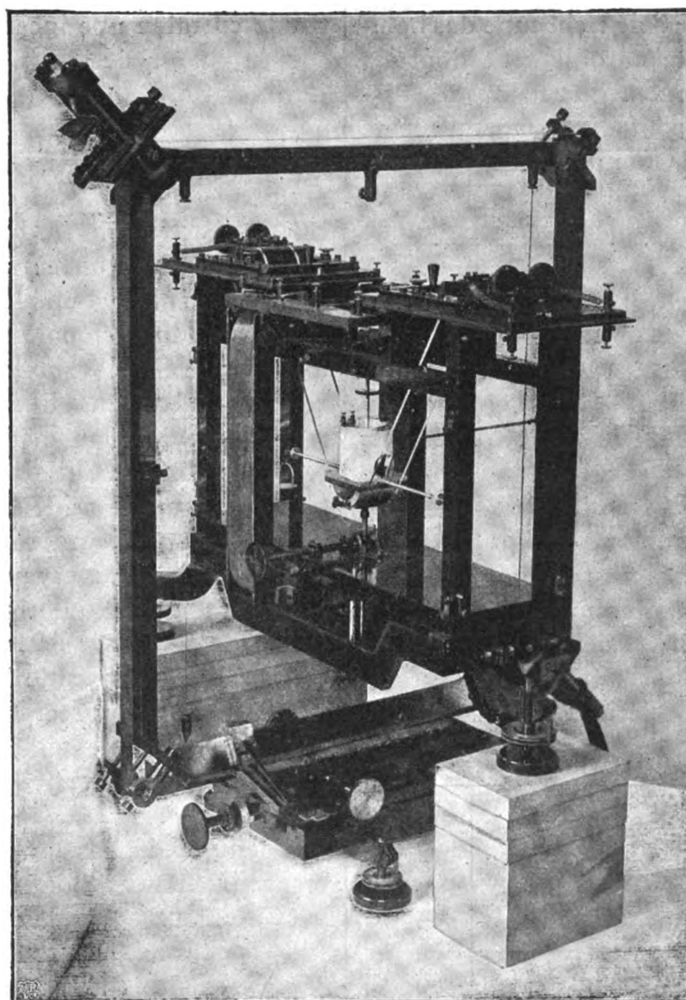


Fig. 1. — Électrodynamomètre de Helmholtz.

III. *Bobines*. — Le cadre des bobines fixes est en laiton de 1 mm d'épaisseur; haut de 25 cm, large de 17 et profond de 5 cm, il a des joues hautes de 2,5 cm. L'espace qui doit recevoir le fil est garni de taffetas; chaque bobine renferme 255 spires doubles, d'un fil de cuivre de 1 mm avec double couverture de soie blanche, en 15 couches. Les deux enroulements de chaque bobine et les deux bobines sont en série dans le circuit; la résistance totale est 14,3 ohms. Les bobines sont imbibées d'une dissolution de gomme laque et la résistance d'isolement dépasse 10^8 ohms, lorsque la gomme laque est sèche.

Comme bobine mobile on peut employer deux exemplaires qui possèdent des dimensions sensiblement égales. Les carcasses de ces

deux bobines sont formées par un tube d'aluminium long de 5 cm, avec un diamètre intérieur de 4 cm et des parois épaisses de 2,5 mm; les joues, faites du même métal ont 2 mm d'épaisseur et 6,5 mm de hauteur. Sur cette carcasse est enroulé un fil d'aluminium, avec double couverture de soie : chacune des bobines porte un double enroulement dont les extrémités aboutissent à quatre bornes distinctes, ces bornes sont disposées du même côté de la bobine sur une droite qui, lorsque la bobine a reçu sa place définitive dans l'appareil, se trouve dans le plan du rectangle de ruban. L'enroulement satisfait aux conditions suivantes :

1° Chaque couche renferme le même nombre de spires.

2° Les diamètres d'une même couche mesurés en divers points diffèrent au plus de 0,2 mm.

3° La différence des diamètres de deux couches consécutives ne dépasse pas 0,3 mm.

Les bobines mobiles ne sont pas passées à la gomme laque, néanmoins leur isolement est du même ordre de grandeur que celui de la bobine fixe.

Voici les données relatives aux deux bobines :

Bobine.	Diamètre du fil sans couverture en mm.	Nombre des		Diamètre intérieur de la première couche en cm.	Diamètre extérieur de la dernière couche en cm.
		Couches.	Spires.		
1	0,6	8	560	4,47	5,52
2	0,7	6	372	4,47	5,32

Distance des joues en mm.	Résistance en ohms.
5,03	8,97
4,96	4,92

Dimensions du ruban rectangulaire. — Les dimensions du ruban rectangulaire ont été mesurées au moyen d'un cathétomètre de la Société Génevoise. La distance entre deux côtés opposés a été mesurée pour chaque couple en trois points différents, au milieu et vers les extrémités. Dans les mesures effectuées avec le cathétomètre, la distance à mesurer était évidemment verticale; on a mesuré aussi la distance horizontalement au moyen d'un comparateur. Les différentes déterminations concordent à 0,01 cm près; cette incertitude entraîne une incertitude de 0,0001 volt sur la valeur de la force électromotrice du Latimer Clark.

Calcul de l'action électrodynamique du rectangle. — Les formules qui permettent de calculer l'action électrodynamique, du rectangle de ruban sur un barreau aimanté ou sur une bobine ont été établies par M. W. Wien.

Le plan du rectangle est supposé perpendiculaire à celui des rubans: on néglige l'épaisseur du ruban en admettant que le courant passe dans le plan médian; la largeur est regardée comme uniforme. On imagine un plan mené par le milieu du ruban et l'axe de la bobine et on admet que dans la position d'équilibre cet axe est parallèle à deux côtés du rectangle. Enfin l'origine des coordonnées se trouve au centre de la bobine, l'axe des z est parallèle à l'axe de la bobine et le plan des xz est celui du rectangle.

L'action du rectangle sur la bobine est égale à la résultante des actions de ses quatre côtés.

Soient $2b$ la largeur du ruban, $2c$ et $2a$ respectivement les longueurs des côtés parallèles à ces axes Oz et Ox.

Le potentiel électrodynamique des deux côtés verticaux du rectangle, qui sont parallèles au plan des yz a pour expression, au point (x', y', z'):

$$W = i \int_{-b}^{+b} \int_{-c}^{-c} \frac{dy\,dz}{r},$$

en appelant i l'intensité du courant et posant :

$$r^2 = (x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2.$$

Les composantes de la force électrodynamique parallèles à l'axe des x ont des directions opposées pour les deux rubans et se font équilibre : restent les composantes pa-

rallèles à Oy qui ont même grandeur et même direction pour les deux rubans et qui forment un couple. La composante a pour valeur au point (x', y', z').

$$\frac{\partial W}{\partial x'}.$$

Pour obtenir le moment total du couple qui agit sur la bobine, il faut intégrer cette expression en étendant l'intégration à toute la surface polaire et multiplier le résultat par le bras de levier qui est le même pour tous les éléments de la surface. Si la distance des pôles de la bobine est égale à $2z' = h$, on aura ainsi pour l'expression du moment statique :

$$M = \left(h \int_{-R}^{+R} \int_{-\sqrt{R^2-y^2}}^{+\sqrt{R^2-y^2}} dx'dy' \frac{\partial W}{\partial x'} \right) \frac{i\mu}{\pi R^2},$$

μ étant la masse magnétique des pôles de la bobine, R son rayon.

L'une des intégrations peut s'effectuer complètement, mais non la seconde; aussi il est plus simple de développer $\frac{\partial W}{\partial x'}$ en série. L'intégrale se compose d'intégrales elliptiques complètes de première et de troisième espèce.

En suivant une marche tout à fait analogue (il suffit même dans la première partie du calcul, de faire une permutation de lettres pour utiliser le résultat déjà obtenu), on obtient la valeur du moment du couple exercé par les côtés horizontaux du rectangle.

Les côtés du rectangle qui sont normaux à l'axe de la bobine exercent sur celle-ci des actions normales à ses surfaces polaires; comme ces forces sont petites vis-à-vis des précédente, on peut les calculer en considérant le ruban comme un conducteur linéaire.

Moment du couple exercé par le rectangle sur un aimant. — Soit λ la distance des pôles (longueur réduite) du barreau aimanté suspendu au centre du rectangle, D_m le moment cherché, J l'intensité du courant dans le rectangle, M_m le moment magnétique du barreau, il faut calculer l'action électrodynamique au point $z' = \lambda$, $y' = z' = 0$. On trouve finalement :

$$(1) \qquad D_m = M_m J K_m = \frac{2 M_m J}{b}$$

$$\operatorname{arc\,tg} \left(\frac{2bL}{ac} \frac{1 - \frac{\lambda^2}{L^2}\left(1 - \frac{1}{2}\frac{a^2}{L^2}\right)}{1 - \frac{\lambda^2}{a^2} - \frac{b^2L^2}{a^2c^2}\left(1 - 2\frac{a^2\lambda^2}{L^4}\right)} \right),$$

en posant :

$$L^2 = a^2 + b^2 + c^2 + \lambda^2,$$

et négligeant les termes qui renferment λ^4.

L'action électrodynamique varie peu avec la température, il suffit de prendre :

$$D_1 = D_2 [1 - \alpha(t_1 - t_2)],$$

où α représente le coefficient de la dilatation du laiton.

La correction relative aux coins arrondis du rectangle (r étant le rayon de la circonférence) s'effectue avec une exactitude suffisante en ajoutant au terme principal :

$$M_m J \frac{(4 - \pi) r^2}{2 (a^2 + c^2)^{3/2}}.$$

La valeur numérique du coefficient K_m calculée d'après la formule (1) est, pour l'instrument décrit, avec une aiguille telle que $2\lambda = 1{,}25$ cm, égale à :

$$K_m = 0{,}193205 \, [\text{cm}]^{-1} \text{ à } 15°,$$

pour un premier rectangle et à :

$$K_m = 0{,}192996 \, [\text{cm}]^{-1} \text{ à } 20°,$$

pour un autre.

Les défauts de planéité des rubans ont peu d'importance et n'affectent pas la valeur de K_m de plus de 1/27000 pour une variation de 1 cmq dans l'aire du rectangle ; or, la variation reste certainement beaucoup au-dessous de cette limite.

Moment du couple exercé par le rectangle sur une bobine. — L'intégration des formules de M. Wien conduit dans le calcul relatif aux côtés verticaux à des intégrales elliptiques complètes de première et de troisième

espèce avec argument complexe : aussi le calcul numérique direct comporte une assez grande incertitude. Cette méthode a donc été abandonnée pour une autre, consistant à développer la formule en série suivant les puissances du module.

Les mêmes difficultés ne se présentent pas pour les côtés horizontaux et on effectue alors directement le calcul des intégrales elliptiques.

Par deux voies de calcul différentes, on a trouvé pour l'instrument décrit :

$$K_{bm} = 0{,}193245\ [\text{cm}]^{-1} \text{ à } 15^\circ$$
$$K_{bm} = 0{,}193251\ [\text{cm}]^{-1} \text{ à } 15^\circ.$$

Résistances. — Les résistances qui interviennent dans les expériences sont des résistances en manganine qui ont été comparées entre elles et comparées à des étalons. Cette comparaison se fait au moyen du galvanomètre différentiel par la méthode de dérivation qu'a indiquée F. Kohlrausch.

Surface de la bobine mobile. — La surface de la bobine mobile a été déterminée en comparant son action magnétique à celle du rectangle en ruban.

Le magnétomètre, la bobine et un microscope viseur peuvent glisser le long d'une règle graduée dont la section est en forme de T (fig. 2).

Le chariot qui est destiné à la bobine porte un disque gradué et ce dernier reçoit le support de la bobine, qui peut se déplacer dans deux directions rectangulaires et tourner autour d'un axe horizontal perpendiculaire à l'axe de la bobine. La règle est d'abord placée dans le méridien magnétique, à 0,1 de degré près et son horizontalité vérifiée avec un niveau sensible. Pour ajuster la position de la bobine, on vise avec une lunette dans la direction de l'axe le centre d'une face terminale marqués par un réticule, on la tourne de 180° et on déplace le chariot jusqu'à ce que la face marquée se trouve à la même distance de la lunette qu'au début.

Par un procédé analogue on règle l'horizontalité de l'axe de la bobine.

Ensuite on amène l'aiguille du magnétomètre à la même distance de la lunette et au même point du champ de vision où se trouvait le réticule de la bobine; puis on règle la position du cadre et celle de la bobine en observant le maximum de leur action électromagnétique sur l'aiguille aimantée.

Comme les conducteurs qui servent à amener le courant au cadre et à le reprendre enveloppent une certaine surface qui s'ajoute à celle de la bobine, il y a lieu de faire à ce sujet une correction. On détermine cette correction en faisant une mesure dans laquelle les deux conducteurs sont réunis par un court-circuit à leur point de jonction avec le rectangle. Les fils amenant le courant à la bobine étaient disposés de manière à ce que leurs actions se détruisissent.

Les mesures différentes réparties sur un espace de deux années sont très concordantes (à 0,0001 près).

Comparaison du cadre et de la bobine fixe. — Une grosse difficulté dans les mesures faites avec l'électrodynamomètre réside dans la sensibilité de l'instrument à l'égard de l'inclinaison de l'axe longitudinal. Par exemple une inclinaison de 1″ entraîne une rotation du système mobile de 3′4 alors que la rotation due aux actions électrodynamiques qu'il s'agit de compenser n'est que 2°,50. De plus une différence de température de 1° entre les deux faces étroites de la cage, entraîne une rotation de 5″.

Il faut donc installer l'instrument dans un espace à température uniforme et sur un socle solide, où il soit soustrait aux trépidations. Les courants d'air ascendants, produits par l'échauffement du fil sont aussi susceptibles de troubler la position d'équilibre de la bobine ; on écarte cette cause de perturbation en rendant l'instrument aussi sensible que possible, de manière à pouvoir utiliser des courants de faible intensité .

Les conditions de réglage qu'il faut réaliser sont les suivantes :

La bobine mobile doit être verticale, au centre du rectangle. L'axe de rotation du système doit être horizontal et parallèle au plan du rectangle, qui doit lui-même coïncider avec le plan du méridien magnétique.

On commence par réaliser cette dernière condition en cherchant la position dans laquelle le rectangle exerce le maximum d'action sur une petite aiguille aimantée suspendue en son centre. Ensuite on amène de la même manière l'axe de l'électrodynamomètre dans le méridien magnétique et enfin,

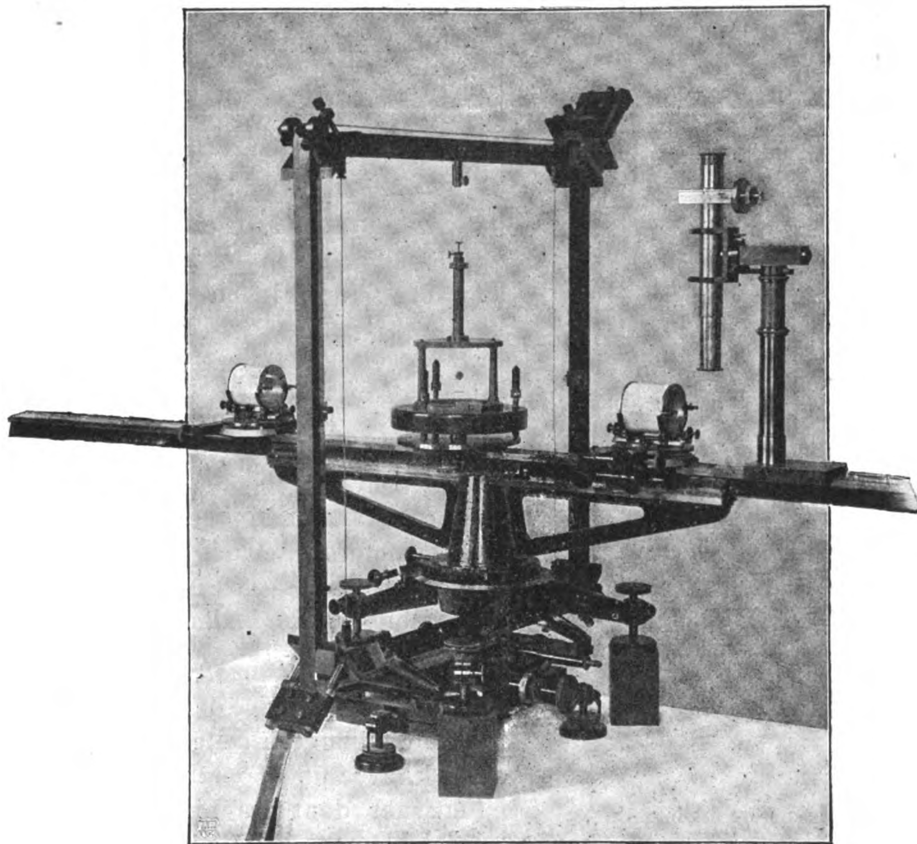


Fig. 2. — Appareil pour la détermination de la surface de la bobine mobile.

en agissant sur les rubans de suspension on rend l'axe de rotation parallèle au plan du rectangle, c'est-à-dire au méridien.

Pour fixer la position de la bobine mobile au centre du rectangle on se sert comme repères de pointes de laiton, vissées dans le support du rectangle et dont la position a été déterminée au moyen du cathétomètre ; le centre de la bobine peut être ainsi réglé à 0,5 mm près.

Pour la mesure elle-même, on partage un courant entre le rectangle et la bobine fixe, de manière que leurs actions sur la bobine mobile se neutralisent.

Comme dans les mesures précédentes on fait la correction relative aux conducteurs qui amènent le courant. Le rectangle et l'électrodynamomètre étaient enfermés dans une boite de carton, pour éviter le refroidissement irrégulier du rectangle, qui s'échauffe sous l'influence du courant; en même temps les rubans se dilatent; mais on les ramène dans leur position primitive au moyen du système tenseur.

Les nombres obtenus dans les différentes séries de mesures sont d'accord à 1/1500 près.

Mesure des courants. — On a mesuré en valeur absolue le courant qui produit entre les extrémités d'une résistance de 4 ohms une différence de potentiel faisant équilibre à la force électromotrice d'un Latimer Clark à 0°. L'action de ce courant dont l'intensité est de 0,36 ampère environ est à peu près compensée par un poids de 0,362 gr placé dans l'un des plateaux de la balance.

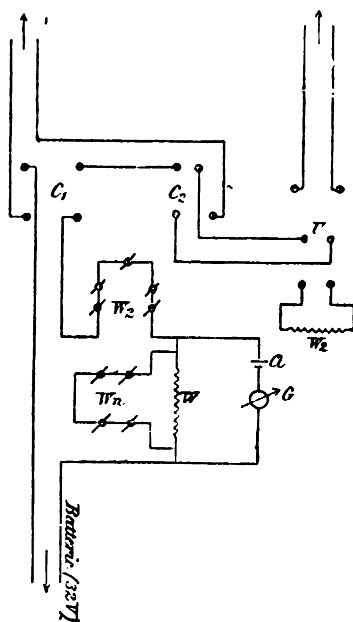


Fig. 3. — Dispositif de mesure des intensités.

La figure 3 représente la disposition de l'expérience.

En *Cl* se trouve le Latimer Clark, en G le galvanomètre qui sont en dérivation sur la résistance W = 4 ohms; une autre résistance W_n est aussi en dérivation. L'intensité du courant qui produit la compensation varie naturellement avec la valeur de W^n. Par interpolation entre deux valeurs de W on détermine la valeur pour laquelle le courant de compensation fait équilibre au poids placé dans la balance de l'électrodynamomètre. Les bras du fléau diffèrent entre eux de quelques millièmes de leur longueur; mais grâce au grand rayon du cylindre sur lequel roule le fléau, on peut supprimer cette différence en inclinant un peu le système mobile En fait il fallait l'incliner de 0°,8 et par conséquent multiplier par cos 0°,8 la surface de la bobine mobile.

Force électromotrice du Latimer Clark. — La force électromotrice du Latimer Clark, en forme d'H, ainsi déterminée est à 0° :

$$e_0 = 1,4488 \text{ volt},$$

et à 15°

$$e_{15} = 1,4322 \text{ volt},$$

Ces nombres sont exprimés en volts définis en fonction de l'ohm international, par une mesure d'intensité en valeur absolue.

M. L.

Pile étalon au cadmium ;

Par W. Jaeger et R. Wachsmuth (1).

Cet élément de pile est un élément Latimer Clark dans lequel le zinc et ses combinaisons sont remplacées par le cadmium et les combinaisons correspondantes.

1. *Force électromotrice de l'élément.* — La force électromotrice de l'élément au cadmium a été comparée à celle de l'élément Latimer Clark, avec un appareil de compensation de Feussner dont les résistances avaient été préalablement étalonnées; plusieurs éléments étaient placés en série et sept éléments au cadmium possèdent à peu près la même force électromotrice que cinq Latimer Clark. La force électromotrice d'un élément au cadmium est à 20° de

1,0190 volt int.

D'après les mesures de Kahle, faites avec l'électrodynamomètre de Helmholtz (2), cette force électromotrice serait :

1,0184 volts.

(1) *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 575-592.
(2) Voir la revue précédente.

ce chiffre exprimant des volts définis par l'ohm international et par une mesure d'intensité de courant en valeur absolue.

2. *Construction de l'élément.* — L'élément répond au schéma.



$Cd \quad SO^4Cd \quad SO^4Hg^2 \quad Hg.$

Il est renfermé dans un vase de verre en forme d'H dans les parois duquel sont scellés des fils de platine ; ces électrodes de platine sont amalgamées par électrolyse. Le cadmium métallique est remplacé par un amalgame, formé de 6 p. de mercure pour 1 p. de cadmium, lequel est liquide à 100° et solide à la température ordinaire. Le sulfate mercureux est broyé avec des cristaux de sulfate de cadmium et une solution saturée de ce sel, de manière à former une bouillie épaisse. Suivant la manière dont on emploie le mercure et le sulfate de cadmium qui doivent compléter la pile, on distinguera trois types d'élément.

Type I. — Le pôle positif est formé par une spirale de platine amalgamé. Au-dessus de l'amalgame de cadmium (pôle négatif) on met des cristaux de sulfate de cadmium, puis on remplit le reste du vase avec la pâte de sulfate mercureux. Dans chacune des branches on verse un peu de paraffine fondue, on met un bouchon et finalement on ferme le tout avec de bonne cire à cacheter.

Type II. — Le pôle positif est formé par du mercure ; tout le reste de même.

Type III. — La pâte de sulfate mercureux se trouve seulement au-dessus du mercure (pôle positif) ; des cristaux de sulfate de cadmium sont au-dessus de l'amalgame de cadmium et on achève de remplir avec une solution concentrée de ce sel. (Voir fig.)

3. *Coefficient de température.* — L'élément est plongé dans un bain de pétrole dont la température peut être maintenue à 0° ou à toute autre valeur, et très constante. D'après l'ensemble des mesures on peut obtenir la force électromotrice de l'élément à une tem-

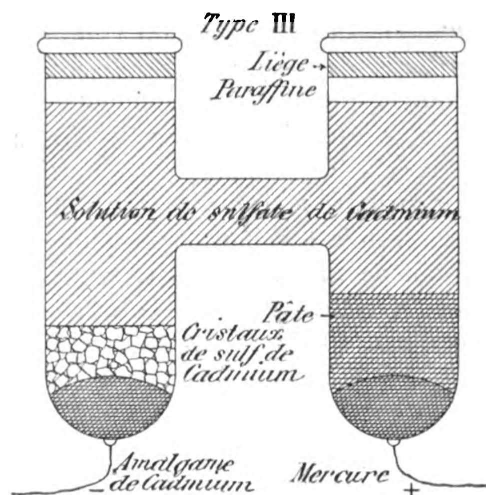


Fig. 1. — Pile-étalon au cadmium.

pérature t comprise entre $+ 10°$ et $+ 30°$, par la formule :

$$E_t = E_{20} - 3,8.10^{-5}(t - 20) - 0,065 \times 10^{-5}(t - 20)^2,$$

le coefficient de température est donc environ 20 fois plus petit que celui du Latimer Clark.

4. *Influence des impuretés.* — Bien que les impuretés chimiques des substances employées à la construction de l'élément n'aient qu'une influence relativement faible sur sa force électromotrice, il y a lieu de s'en préoccuper. Les impuretés du cadmium ne sont pas à craindre ; le zinc qu'il pourrait renfermer n'a pas d'effet appréciable ; car deux éléments, dans l'un desquels on avait ajouté à dessein 2 p. 100 de zinc au cadmium, ne différaient que de 39.10^{-5} volts. La teneur de l'amalgame fait varier un peu plus la force électromotrice ; 1 p. 100 de cadmium en plus augmente la force électromotrice de 0,001 volt. Il est important que la solution de sulfate de cadmium soit réellement saturée : il faut qu'elle ait été maintenue longtemps au contact d'un excès de sel pulvérisé et agité. Faute de cette précaution, l'élément présente quelquefois au début une force électromotrice plus grande que la force électromotrice nor-

male ; mais on peut toujours revenir à celle-ci en ajoutant du sulfate de cadmium pulvérisé.

Le sulfate de cadmium du commerce ne renferme que des traces de sels étrangers, insuffisantes pour modifier la force électromotrice. Par contre, il a presque toujours une réaction acide ; la force électromotrice est alors un peu trop élevée (0,0003 volt) et la pâte se recouvre au bout de quelque temps d'une couche grise. On évite ces inconvénients en faisant digérer le sulfate à chaud avec de l'hydrate de cadmium et ensuite avec du sulfate mercureux ; on filtre la solution.

Pour débarrasser le sulfate mercureux de l'acide libre, on le lave à l'eau jusqu'à ce qu'il prenne une teinte jaunâtre, due à la formation d'un sulfate basique ; il est bon aussi de mélanger un peu de mercure à la pâte.

L'élément


Cd $CdCl^2$ Hg^2Cl^2 Hg.

aurait l'avantage de substituer au sulfate mercureux le calomel qui est chimiquement mieux défini ; mais cet élément a un coefficient de température trop élevé.

5. *Constance de l'élément.* — En deux ans la force électromotrice de plusieurs éléments qui ont été étudiés, n'a varié au plus que de 0,0001 volt. L'élément est aussi transportable : deux exemplaires du type I, transportés par la poste à 600 km, et qui certainement, d'après le mode d'emballage avait été constamment l'un ou l'autre sens dessus dessous pendant le trajet, n'ont pas souffert de ce voyage ; leur force électromotrice n'avait varié que de quelques cent millièmes de volt.

M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Magnetische Kraftfelder (Champs de force magnétique) ; par H. Ebert, professeur à l'Université de Kiel. 1re part. *Amb. Barth*, éditeur, Leipzig, 1896.

Parmi les nombreux traités d'électricité et de magnétisme qui ont vu le jour dans ces dernières années, le présent livre du professeur Ebert présente certainement un caractère à part. Comme le fait remarquer l'auteur dans sa préface, aucun ouvrage classique ne s'est encore résolument inspiré des notions nouvelles, introduites dans la science électrique par Maxwell et Hertz. A vrai dire, presque tous les chapitres de l'électricité ont été traités à ce point de vue dans des mémoires séparés ; mais aucun livre d'ensemble élémentaire n'a encore été fait ; c'est ce livre que le professeur Ebert a voulu écrire.

La première partie, seule publiée jusqu'ici, nous offre un exposé des phénomènes magnétiques et électromagnétiques, reposant exclusivement sur la notion des lignes de force (comme le promet le sous-titre de l'ouvrage). Ceci n'est pas absolument nouveau, à vrai dire. Mais ce qui l'est davantage, c'est le caractère élémentaire donné à cet exposé. Tandis que les auteurs qui, jusqu'à présent, se sont occupés de présenter les idées de Maxwell et de Hertz, ont surtout envisagé le côté mathématique, le professeur Ebert s'est placé surtout au point de vue expérimental. Peu ou point de développements mathématiques ; à peine quelques intégrales des plus simples se rencontrent-elles çà et là. En revanche l'auteur décrit un grand nombre d'expériences de démonstration ; il s'excuse de les avoir décrites avec autant de détails que si chaque lecteur avait à les répéter. Je ne pense pas que personne ne lui en tienne rigueur ; car quiconque s'est occupé d'expériences de cours sait qu'elles ne sont pas sans difficultés et qu'une indication donnée à propos peut épargner bien des tâtonnements et des insuccès. Peut-être serait-il davantage exposé à des objections sur la nature même des expériences qu'il indique. Un grand nombre d'entre elles sont destinées à fournir des représentations mécaniques matérielles du champ magnétique et on a parfois jugé un peu sévèrement ces représentations, qui ont été surtout vulgarisées par le livre du professeur O. Lodge. Il ne me semble pas d'ailleurs que cette sévérité soit justifiée. Assurément, il ne faut voir là que des images, mais ces images ne sont pas inutiles et à vouloir nous en abstraire complètement, nous aurions plus de peine que de profit. On peut affirmer, sans témérité, qu'à l'origine de la plupart des théories mathématiques de l'électricité, se trouve une conception de ce genre, qui a dirigé la mise en équations. Par

exemple, il est presque inutile de rappeler la parenté des équations de l'électricité avec celles de l'hydrodynamique et il est fort probable que nous ne serions pas arrivés aussitôt à l'idée des ondulations, si nous n'eussions pas connu les ondes hydrodynamiques. Le professeur Ebert ne nous dit-il pas que Helmholtz aurait eu l'idée de la théorie des tourbillons, en regardant le café et le lait se mélanger dans sa tasse.

Il n'y a donc pas lieu de proscrire ces images matérielles qui, convenablement interprétées, peuvent être d'un grand secours au professeur, et le livre fournira sur ce sujet de précieuses indications.

Sans entrer dans le détail des chapitres, je signalerai seulement le chapitre 5, où sont exposées avec clarté, bien qu'avec brièveté, les principales théories du champ magnétique : symétrie du champ, théorie des tourbillons, théorie des cycles de Helmholtz ; c'est, je crois, le premier exposé élémentaire de ces importantes questions.

M. L.

Annuaire du bureau des longitudes, pour 1897. — *Gauthier-Villars et fils*, éditeurs. — Prix 1,50 fr.

Aux renseignements déjà si nombreux que renfermaient les précédentes éditions et qui font de cet annuaire un ouvrage presque indispensable aux savants et aux ingénieurs, ont été jointes quelques additions parmi lesquelles nous signalerons les nouvelles déterminations magnétiques de M. Moureaux, le tableau des densités des nombreux carbures préparés par M. Moissan, et celui des monnaies du Transvaal ; en outre M. Berthelot a apporté une amélioration importante dans les tableaux relatifs aux corps simples et à la thermochimie en exprimant toutes les formules dans le système atomique.

Les notices scientifiques qui donnent à chaque édition de l'annuaire son originalité propre sont cette année au nombre de six. Trois d'entre elles sont dues à M. Tisserand, l'éminent directeur de l'Observatoire, qu'une mort subite enlevait à la science en octobre dernier ; elles se rapportent au *mouvement du système solaire*, aux *travaux de la quatrième réunion du Comité international pour l'exécution de la Carte photographique du Ciel* et aux *travaux de la Commission internationale des étoiles fondamentales*. La quatrième notice, *les rayons cathodiques et les rayons Rœntgen*, écrite par M. H. Poincaré, intéresse particulièrement les électriciens. Dans les deux dernières, M. Janssen retrace *les époques dans l'histoire astronomique des planètes* et résume *les travaux* exécutés à l'observatoire du Mont-Blanc.

Dans sa notice, M. H. Poincaré expose et discute les propriétés des rayons cathodiques et des rayons Rœntgen. Dès le début il est forcé de reconnaitre que malgré l'ardeur déployée dans tous les laboratoires depuis la publication du premier mémoire de Rœntgen nous ne sommes guère plus avancés qu'au premier jour sur la nature des radiations nouvelles ; leurs propriétés mêmes ne sont qu'imparfaitement connues et les résultats des divers expérimentateurs sont contradictoires. Dans de telles conditions il serait prématuré de prendre parti pour l'une ou l'autre des théories qui ont été proposées, et la notice de M. Poincaré reste sans conclusion à ce propos. Néanmoins elle est des plus intéressantes en ce qu'elle résume en 35 petites pages tout ce qui a été fait sur la question jusqu'en octobre 1896, et sans aucun doute elle sera lue avec autant de profit par ceux qui connaissent déjà le sujet que par ceux, pour lesquels elle a été plus spécialement écrite, qui désirent s'y initier.

J. B.

Annuaire de l'observatoire municipal de Montsouris, pour 1897. — Un volume in-18 avec diagrammes et figures dans le texte. — *Gauthier-Villars et fils*, éditeurs. — Prix, broché 2 fr, cartonné 2,50 fr.

Cet annuaire qui parait régulièrement depuis 1872, année qui suivit la fondation de l'observatoire de Montsouris par Charles Sainte-Claire Deville, intéresse tout particulièrement la population parisienne et du département de la Seine.

L'annuaire de cette année contient les mémoires et rapports des analyses et travaux de l'année 1895 ; il se divise en trois parties relatives aux trois services de l'observatoire : le service physique et météorologique centralisé depuis deux ans à la station de la tour Saint-Jacques, le service chimique et le service micrographique.

Dans les tables publiées par le service physique et météologique, dirigé par M. J. Jaubert, nous trouvons les observations de température, de pression et de pluie faites à Paris de 1805 à 1895, les intensités de direction du vent, les observations sur les orages de la région parisienne, celles sur le degré actino-

métrique, les températures et transparences de la Seine, etc. Le service chimique, dirigé par M. Albert Lévy, nous renseigne sur la composition chimique de l'air en divers endroits de Paris, celle des eaux d'alimentation (eaux de la Vanne, de la Durys, de l'Avre, de la Seine et de la Marne), des eaux météoriques et des eaux d'égout et de drainage. Le Dr P. Miquel, directeur du service micrographique, donne dans la troisième partie les résultats des plus intéressants, pour l'hygiène publique, des analyses micrographiques de l'air et des eaux. Parmi ces résultats nous relevons le suivant que nous livrons aux méditations de ceux qui s'opposent au développement des tramways à traction mécanique mettant en communication rapide le centre de Paris avec la banlieue : en juin 1895, l'air puisé près de l'Hôtel de Ville contenait 21 300 bactéries par mètre cube, tandis qu'à Montsouris le même volume d'air ne renfermait que 40 bactéries. Un autre résultat montre avec quel soin doivent être entretenues les canalisations amenant l'eau de source à Paris : l'eau du réservoir de la Dhuys qui, en année normale, contient une moyenne de 7 140 bactéries par centimètre cube en janvier, en contenait en janvier 1895, 215000 (soit autant que l'eau de la Seine puisée à Chaillot) par suite du mauvais état de l'aqueduc. Enfin, pour donner des chiffres plus rassurants et qui intéressent les électriciens qui s'occupent de la purification des eaux d'égout, ajoutons que les analyses des eaux de drainage de la presqu'île de Gennevilliers où sont épandues les eaux d'égout contenant en moyenne 19 000 000 de bactéries par centimètre cube, ont montré que ces eaux de drainage ne contenaient plus qu'environ 7000 bactéries pour le même volume et que, par suite, elles se rapprochent sous ce rapport des eaux de source distribuées à Paris et sont une dizaine de fois moins impures que l'eau de la Marne et l'eau de la Seine prélevée en amont de Paris. J. B.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

Middletown (*Conn.*). — *Transport de force dans les ateliers.* — Une importante usine en cours d'achèvement à Middletown et destinée à la fabrication des cycles de la Keating Weel C°, marque bien connue de l'autre côté de l'Atlantique, sera entièrement actionnée à l'électricité. Déjà la station génératrice, comprise dans les autres bâtiments de l'usine, est équipée d'un moteur à vapeur de 500 chevaux et d'un alternateur triphasé de 250 kilowatts, un second alternateur de même puissance sera incessamment installé. On procède actuellement à la pose des circuits qui devront alimenter de nombreux moteurs et un nombre considérable de lampes à incandescence et à arc. On comprendra sans peine l'importance de cette installation en disant que l'un des ateliers a 240 m de long et est divisé en quatre sections latérales pourvues chacune d'un arbre de transmission sur toute la longueur du bâtiment. Les arbres sont suspendus à des paliers fixés au plafond et sont formés de trois sections que commanderont séparément des moteurs à induction de 30 chevaux. Les ateliers de réparations, les forges, etc., seront aussi pourvus de transmissions semblables. En un mot, l'énergie électrique sera utilisée, en outre de son emploi pour l'éclairage, dans toute l'étendue de ses applications en ce qui concerne la fabrication des bicyclettes.

Palm Beach (*Floride*). — *Station centrale et éclairage.* — Le splendide hôtel de la Royal Ponciana, à Palm Beach, est maintenant éclairé à l'électricité. Le courant qui alimente les 9 à 10000 lampes qui constituent son éclairage est engendré dans une station centrale, la propriété de l'hôtel, par 3 alternateurs de 150 kilowatts et un de 25 du type La Roche entraînés par trois moteurs à vapeur tandem. Chacun de ces alternateurs est pourvu d'une excitatrice dont l'induit est calé sur le prolongement de leurs axes.

Leur mise en parallèle s'effectue de la manière suivante : on déclenche le régulateur d'un des moteurs des génératrices à coupler et on met l'autre en marche. Dès que la vitesse normale est atteinte on lance le second moteur sans régulation et on lui laisse atteindre la vitesse correspondant au synchronisme des deux alternateurs ; on ferme les commutateurs et les deux machines fonctionnent ainsi avec un régulateur seulement.

Le courant alternatif, à 300 volts, vient d'abord au tableau de la salle et est ensuite réparti par des feeders aux colonnes montantes dont les circuits vont aux lampes des différentes parties et étages

de l'établissement. Au bas de ces colonnes se trouve un transformateur qui ramène la tension de 300 à 112 volts.

DIVERS

Un nouveau régulateur de moteur à vapeur pour la commande des dynamos. — Ce régulateur que vient d'imaginer un mécanicien de la flotte, M. Bayle, est particulièrement destiné au réglage des moteurs commandant les dynamos qui servent à l'éclairage des navires de guerre. Son fonctionnement, nous dit le *Génie civil*, est basé sur le mouvement différentiel produit par le couple moteur et le couple résistant dans un accouplement élastique tel, par exemple, celui de Belleville, dans lequel deux ressorts puissants réunissent le volant du moteur à un disque terminant l'arbre de la dynamo. Par suite de la mise en marche du groupe, la position relative des deux arbres dans le couplage élastique, varie en même temps que la valeur du couple résistant. Ce mouvement différentiel est utilisé pour la manœuvre de la valve de vapeur par l'intermédiaire d'un train d'engrenages qui provoque en même temps le déplacement d'un index sur une échelle graduée donnant à chaque instant la puissance de la machine.

Essais d'un turbo-générateur Parsons de 200 kilowatts. — Ces essais ont été effectués par M. W. D. Hunter. La turbine, du modèle ordinaire des constructeurs, à circulation parallèle, était directement reliée à un dynamo à courant continu d'une puissance de 200 kilowats. Les organes d'admission de vapeur étaient réglés par un régulateur très sensible qui réduisait ou prolongeait les périodes d'admission sans modifier la pression initiale dans le cylindre et par conséquent sur la roue motrice. Aussi, malgré les variations de charge qu'on a fait subir à la dynamo, la turbine a toujours fonctionné sans à-coups ni même de de fluctuations sensibles de courant dans la dynamo ; le potentiel aux bornes s'est accru momentanément alors que l'on venait de décharger la machine de 280 chevaux d'un seul coup. En résumé, l'ensemble a fonctionné d'une façon satisfaisante et sans emballements pour des charges variant de la pleine charge à la charge nulle. Les résultats d'essai sont consignés dans le tableau suivant :

Kilowatts.	Eau dépensée par heure en kg.	Eau dépensée par kw-heure produit en kg.	Eau dépensée par ch-heure électrique en kg.	Observations.
219,2	4298,76	19,61	14,62	Sans condensation.
98,7	2654,99	26,89	20,05	
54,5	1965,82	36,09	26,92	
0	947,76	.....	.....	
203,0	3826,76	18,84	14,05	Sans condensation et ayant une vapeur surchauffée de 16°.
106,1	2400,19	22,62	16,87	
0	636,50	.....	.....	
208,0	2471,12	11,87	8,85	Avec condensation. Vapeur non surchauffée. Vide à pleine charge 62,5 cm.
108,4	1378,79	12,72	9,48	
0	240,97	.....	.....	

Comme on le voit par ces chiffres le cheval-heure électrique entraîne, pour sa production, une dépense de 14,62 kg d'eau pour une marche correspondant à la pleine charge et avec échappement dans l'air libre. Dans les mêmes conditions, et avec de la vapeur ayant une surchauffe de 16 degrés, cette dépense descend à 14,05 kg. Enfin, avec de la vapeur saturée seulement, s'échappant dans un condenseur, elle se réduit à 8,85 kg pour la pleine charge et avec un vide de 62,5 cm.

L'emploi des tachymètres électriques à bord des navires de guerre. — Ce genre d'appareils tend à se généraliser dans notre marine de guerre. Différents systèmes ont déjà été mis à l'essai, notamment sur le *Marceau* et le *Courbet*. Le croiseur *le Suchet*, possède depuis peu un tachymètre électrique dû à M. Fayot, de Paris.

Cet appareil a été, avant son application, soumis à une série d'essais, qui ont déterminé son adoption. Il consiste sommairement en une petite dynamo qu'entraîne l'arbre de l'hélice par l'intermédiaire d'une chaîne Galle, et en un galvanomètre placé dans un endroit quelconque du navire, passerelles ou kiosques de timonerie. L'aiguille de ce galvanomètre se déplace dans deux directions correspondant à la marche avant et à la marche arrière, sur une graduation indiquant le nombre de tours accomplis à chaque moment par l'hélice.

Le redressement des surfaces portantes des roues de tramways. — On sait que les roues des véhicules fréquemment soumises à l'action des

freins, telles que celles des voitures de tramways sont sujettes à s'user par le glissement de la surface portante contre le rail, et par suite, à devenir « boiteuse ». On les redresse à l'aide d'une meule en émeri, opération qui nécessairement oblige à démonter les roues, et immobilise la voiture pendant une période qui sans être bien longue est toujours préjudiciable pour les trafics intenses. La machine à redresser construite par la Murphy Manufacturing C° et mise en essai depuis un an dans les ateliers de la Compagnie de tramways de la seconde avenue, à Pittsburg, permet de redresser à la fois et sans les démonter, les quatre roues d'une voiture. L'ensemble de cette machine consiste en quatre meules émérisées actionnées chacune par un moteur et placées à des distances convenables de chaque côté d'une plate-forme sur laquelle s'engage la voiture. Dès que celle-ci est en position on ajuste les meules et on met les moteurs en marche. Au bout d'un quart d'heure au plus la voiture peut regagner son poste, ses roues ont une périphérie absolument plane. La Compagnie qui emploie cette machine réaliserait, ainsi, une importante économie sur les anciens procédés.

Sur l'électrométallurgie de l'aluminium. — Dans l'article de tête du premier numéro d'une nouvelle revue technique, *L'Industrie électrochimique*, M. Becker, directeur de cette revue, après avoir fait ressortir l'extension considérable que prendrait l'emploi de l'aluminium si l'industrie pouvait arriver à livrer ce métal à un degré de pureté convenable, ajoute qu'à son avis, on a dépassé la limite des exigences en demandant de l'aluminium chimiquement pur, car ce ne sont ni les petites quantités de fer, ni celles de silicium que renferme le métal ordinaire qui le rendent inutilisable, mais bien des traces de sodium.

La préparation de l'aluminium tout à fait pur présenterait d'ailleurs de grandes difficultés qui en élèveraient nécessairement le prix. Aujourd'hui pour préparer de l'aluminium commercial de première qualité on est obligé de prendre des matières premières aussi pures que possible et encore n'obtient-on qu'une faible quantité d aluminium assez pur en même temps qu'une grande quantité de qualité inférieure qui ne peut être utilisé que pour l'affinage du fer et de l'acier. D'ailleurs l'alumine est le seul des produits nécessaires à la fabrication de l'aluminium qu'on puisse se procurer relativement pur; en France cette alumine est préparée à Gardanne, usine de la Société électrométallurgique française, par le procédé Bayer. Quant à la cryolithe (fluorure double d'aluminium et de sodium) qui entre dans la constitution des bains dans le procédé Héroult et le procédé Hall, et le spath fluor (fluorure de calcium) qui sert à préparer le fluorure d'aluminium ajouté au sel précédent dans le dernier procédé, ils contiennent toujours de la silice et doivent être à grands frais tirés de l'étranger, car jusqu'ici on ne connaît pas en France de gisements de ces minéraux suffisamment purs pour servir à la préparation de l'aluminium.

Il conviendrait donc, d'après M. Becker, de renoncer à l'idée d'obtenir directement de l'aluminium pur par le four électrique. Il faudrait, au contraire, produire un métal de qualité inférieure, mais très bon marché, en employant de la bauxite et des fondants appropriés puis purifier chimiquement le produit obtenu.

Influence du manganèse dans les accumulateurs. — D'une série d'expériences entreprises par M. Knorre pour s'assurer si, comme le prétendent certains auteurs, l'emploi du manganèse dans la fabrication des accumulateurs au plomb donne lieu à quelques avantages, et que vient de publier le *Zeitschrift für Electrochemie*, il résulte que l'emploi de ce métal est loin d'être recommandable. Car lorsqu'un accumulateur contient du manganèse, soit sous forme de bioxyde dans la plaque positive, soit en dissolution dans l'électrolyte, ce métal sert de véhicule à l'oxygène pour passer de la plaque positive à la plaque négative, ce qui a pour effet de décharger l'élément même à circuit ouvert; sa capacité et son rendement s'en trouvent donc naturellement amoindris.

L'auteur explique ce phénomène par la formation d'acide permanganique au contact du composé de manganèse avec la plaque positive; cet acide se dissout dans l'électrolyte en cédant son oxygène à la plaque négative.

Le procédé Haycraft pour l'extraction électrique de l'or. — Dans son numéro du 19 mars *The Electrician* décrit ce procédé qui a été soumis à un essai pratique à Adélaïde.

L'appareil consiste en une cuve circulaire dont le fond présente une dépression remplie de mercure et dans laquelle tourne un arbre vertical muni de palettes portant des charbons; le mercure est relié au pôle négatif et l'arbre de l'agitateur au pôle positif d'une dynamo. Dans cette cuve on verse une dissolution de chlorure de sodium contenant 2 à 4 p. 100 de sel et tenant en suspension le minerai d'or. Les particules d'or les plus grosses tombent au fond et se dissolvent dans le mercure; les plus fines sont converties en chlorure d'or par le chlore résultant de la décomposition électrolytique du chlorure de sodium et ce chlorure d'or est à son tour électrolysé, l'or mis ainsi en liberté s'alliant au mercure.

L'opération est effectuée à la température de 100°. Au bout d'une heure environ on évacue le contenu de la cuve et on le conduit sur une table à toiles à secousses afin de récupérer les particules de mercure et d'amalgames entraînées; ensuite on sépare le sable par repos et décantation et la dissolution sert à une nouvelle opération.

Intensité de l'effet photographique des rayons Rœntgen. — M. Fred. TROUTON, professeur du Trinity College. Dublin, a, d'après une lettre qu'il adresse à *The Electrician* et que publie ce journal dans son numéro du 19 mars, comparé l'effet photographique d'une bougie à celui des rayons Rœntgen émis par un tube focus. Pour cette comparaison il faisait varier les distances des deux sources à la plaque photographique et le temps pendant lequel la bougie agissait de manière à obtenir la même impression ; pour éviter l'action des parois fluorescentes du tube de Crookes une feuille mince de carton était placée en avant de ce tube; de plus on ne faisait passer qu'une seule étincelle et la durée des rayons Rœntgen engendrés par cette unique étincelle était déduite d'expériences antérieures présentées au dernier meeting de la British Association.

En admettant que l'effet photographique est proportionnel au temps et que les plaques employées avaient une égale sensibilité, M. Trouton a trouvé que l'intensité de l'effet photographique des rayons Rœntgen est de une ou cinq fois celle de l'effet d'une bougie suivant que la durée de l'étincelle productrice des rayons Rœntgen est de 1/800 ou de 1/10 000 de seconde. L'intensité de l'effet photographique décroîtrait donc rapidement quand la durée de l'étincelle augmente.

Propriétés des conducteurs discontinus soumis aux actions électriques. — Dans le dernier numéro du *Journal de Physique*, M. Bagard décrit, d'après les *Atti del R. Ist. Ven.* (t. VII, série VII), quelques expériences de M. G. VICENTINI qui jettent quelque jour sur le phénomène, observé pour la première fois par M. Branly, de la variation considérable de résistance des conducteurs discontinus sous l'influence des décharges électriques voisines.

M. VICENTINI prend des émulsions de mercure dans l'huile d'olive ou dans l'essence de térébenthine ; il obtient ainsi de très petites gouttelettes de mercure qui restent isolées les unes des autres. En faisant éclater des étincelles, provenant d'une machine de Holtz, dans le voisinage immédiat ou à une grande distance de ces préparations, il a vu les gouttelettes de mercure se rassembler en formant des gouttes dont le nombre et le diamètre augmentaient avec le nombre des décharges. Ces résultats et ceux des autres expériences semblent indiquer que dans le cas général de conducteurs discontinus quelconques, l'effet des actions électriques doit être aussi d'amener les particules métalliques à un contact parfait plus ou moins prolongé.

Appareils pour l'analyse spectrale des gaz. — L'étude du spectre des gaz se fait généralement à l'aide de tubes à gaz raréfiés, dits *tubes de Plucker;* la confection de ces tubes exige des manipulations longues et compliquées qui en excluent l'emploi dans des analyses courantes, un tube spécial étant nécessaire pour chaque gaz.

Pour remédier à cet inconvénient, M. M. BERTHELOT se sert de deux dispositifs, qu'il présentait à l'Académie des siences, à la séance du 15 mars.

L'un de ces dispositifs, que l'auteur emploie depuis bien des années dans ses cours du Collège de France, consiste en un tube barométrique, long de 80 cm environ, surmonté d'une petite chambre verticale divisée en deux parties par un étranglement capillaire et fermée par deux robinets. On remplit l'appareil de mercure en l'enfonçant dans une cuve profonde à mercure les robinets étant ouverts; après avoir fermé le robinet supérieur, on soulève le tube et, par l'extrémité inférieure, on introduit dans la chambre barométrique une petite bulle du gaz à étudier ; on fait alors passer des étincelles électriques entre deux fils de platine soudés dans chacun des deux compartiments de la chambre barométrique.

Le second dispositif, plus robuste et d'une manipulation moins délicate, consiste en un tube de verre de 10 à 12 cm de long et de 0,7 à 1,5 cm de diamètre intérieur, dont l'extrémité supérieure, fermée, est traversée par un fil de platine. Par l'ouverture inférieure du tube on introduit un second fil de platine enfermé, sauf à son extrémité supérieure, dans un tube capillaire ; un bouchon fermant partiellement le gros tube et traversé par le tube capillaire maintient celui-ci en place tout en permettant de le faire glisser de manière à faire varier la distance entre le fil de platine qu'il porte et le fil soudé au tube-éprouvette, fils entre lesquels jaillissent les étincelles. Pour se servir de l'appareil on remplit de mercure le large tube, on y fait arriver quelques bulles du gaz, puis on introduit le tube capillaire muni de son bouchon.

Combinaison de l'azote et des composés carbonés sous l'influence de l'effluve. — M. Berthelot, qui, depuis longtemps déjà, a montré que sous l'influence de l'effluve électrique l'azote se combine aux composés carbonés, vient de faire sur ce sujet une nouvelle série d'expériences dont il communiquait les principaux résultats à l'Académie des sciences, à la séance du 15 mars dernier.

Ces expériences, faites généralement avec l'azote extrait de l'azotite d'ammonium, ont porté sur la benzine (C^6H^6), le sulfure de carbone (CS^2) et le thiophène (C^4H^4S).

Avec la benzine la vitesse d'absorption de l'azote est à peu près la même avec un interrupteur Deprez, que l'on fasse ou non intervenir la haute fréquence ; avec un interrupteur Foucault donnant des étincelles condensées plus rares mais beaucoup plus fortes la vitesse d'absorption n'était guère que le 1/6 de celle du cas précédent. L'absorption est limitée quand la benzine a absorbé 0,12 de son poids d'azote ; la substance formée répondrait à la composition brute d'une diphénylphénylènediamine ; elle absorbe l'oxygène à froid ; chauffée au rouge sombre elle donne de l'ammoniaque et pas d'azote ; son étude, après contact avec l'eau qui a pris l'oxygène, montre qu'elle est en majeure partie formée d'un composé basique soluble dans l'acide chlorhydrique.

Avec le sulfure de carbone l'absorption est plus rapide ; elle est limitée quand le sulfure de carbone a absorbé 0,117 de son poids d'azote ; le composé formé absorbe l'oxygène à froid ; chauffé dans le tube où il s'est formé il dégage de 1/5 à 1/4 de l'azote qu'il contient.

Avec le thiophène l'absorption est moins rapide qu'avec le sulfure de carbone ; elle s'arrête quand le liquide a absorbé 0,086 de son poids d'azote.

Nouveau mode de fixation des fils de bobines d'induits aux collecteurs. — Dans ce dispositif qui a valu à l'auteur, M. Weiler, d'Esslingen, une médaille de la Société industrielle de Mulhouse, chacun des segments du collecteur est fendu longitudinalement sur une partie de sa longueur et porte dans cette fente deux évidements destinés à recevoir l'extrémité des fils de deux bobines consécutives; une vis de pression traversant perpendiculairement la fente en son milieu permet de maintenir ces derniers en place de les serrer autant que l'on veut sans craindre de les écraser.

L'auteur a proposé également un dispositif analogue dans lequel les lamelles sont rendues mobiles et interchangeables. Ce second système présente quelques avantages sur le précédent au point de de vue l'effort exercé sur les vis par la force centrifuge, mais donne lieu à une complication mécanique assez importante, tout en offrant moins de garanties de solidité et d'isolation.

La fabrication électrolytique du sodium et du potassium. — Dans un article publié dans *The Electrician* du 19 mars, M. John-B.-C. Kershane dit que la Aluminium Cy de Oldbury qui, il y a quelques années encore préparait le sodium par voie chimique, produit actuellement 6 tonnes par semaine de ce métal en électrolysant la soude fondue au moyen du procédé Castner ; 1 000 ampères sous 4,5 volts sont employés à cette préparation. Une autre usine anglaise et une usine de Berlin produisent également une quantité importante de sodium électrolytique.

Pour le potassium une petite usine électrochimique a été fondée en 1895 à Patricroft, près de Manchester.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XI. Samedi 10 Avril 1897. 4ᵉ Année. — Nº 16.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

Directeur Scientifique : J. BLONDIN

L'APPLICATION DU PRINCIPE DE CARNOT A LA THÉORIE DE LA PILE

L'application du principe de Carnot à la pile voltaïque et à l'électrolyse a conduit, par des raisonnements extrêmement simples, à l'établissement de formules que l'expérience a vérifiées à un haut degré de précision. Il ne saurait donc subsister de doutes sur la légitimité de cette application ; cependant elle apparaît encore à beaucoup de personnes comme fondée sur des hypothèses très hasardées et cette opinion doit être celle de beaucoup de professeurs qui traitent toujours la question par des raisonnements particuliers et semblent tenir à laisser leurs auditeurs dans l'incertitude au sujet de la rigueur de leurs conclusions. Les personnes qui acceptent les fondements de la théorie ne se font pas toujours des idées très nettes des résultats acquis et la formule suivante résume souvent dans leur esprit des notions assez confuses : le rendement d'une machine étant nécessairement inférieur à l'unité, le produit de la force électromotrice d'une pile par la quantité d'électricité qu'elle débite, c'est-à-dire l'énergie *voltaïque*, est toujours inférieur à la diminution d'énergie qui résulte des transformations *chimiques*. Cette formule simple et courante est absolument fausse ; c'est ce que je me propose d'expliquer d'abord, par des considérations aussi élémentaires que possible, dans lesquelles je chercherai à résoudre toutes les difficultés qui surgissent d'ordinaire dans l'esprit des débutants quand on leur expose la théorie. Le terrain ainsi déblayé, je passerai, dans la seconde partie de cet article, à l'exposé aussi voisin que possible de l'original, des principaux travaux qui ont constitué la théorie et qui ne sont pas, en général, aussi connus qu'ils mériteraient de l'être.

I. — Les difficultés

La réversibilité. — Pour appliquer le principe de Carnot à la pile, on considère, dans certains raisonnements, des modifications réversibles. Cette réversibilité totale suppose d'abord celle des réactions chimiques ; on sait qu'on peut la réaliser très sensiblement dans des piles du type Daniel, dans lesquelles les électrolytes restent inaltérés, la seule réaction chimique étant le transport du métal de l'une des électrodes sur l'autre ; on obtient également la réversibilité en maintenant les produits de la réaction en présence des électrodes et de l'électrolyte comme dans les piles à gaz ou les accumulateurs. Il faut aussi que les absorptions ou les dégagements de chaleur soient réversibles ; on sait que les phénomènes thermiques qui ont pour siège les soudures et les surfaces de contact satisfont à cette condition, de même que l'effet Thomson, dû à la différence de

température des diverses parties du circuit. Il reste l'effet Joule qui, en général, est de beaucoup le plus important et dont le signe ne change pas avec la direction du courant, et qui constituera un phénomène irréversible que l'on n'annulera qu'en annulant le courant lui-même. Il est donc impossible, en toute rigueur, d'obtenir un courant réversible et il semble qu'on ne puisse chercher à appliquer à la pile les procédés de raisonnement dont on s'est servi pour étudier les propriétés des corps homogènes. Cependant, la difficulté n'est qu'apparente et on s'en rend parfaitement compte dès qu'on demande dans quelles limites les conditions de réversibilité sont satisfaites dans les cycles de Carnot qui interviennent dans les démonstrations classiques.

Soit un gaz enfermé dans un corps de pompe muni d'un piston; proposons-nous de réaliser cette simple opération : accroissement de pression isotherme. Déplaçons le piston ; si lentement que nous ayons opéré, la masse totale du gaz n'a pu se mettre immédiatement en équilibre de pression ; il se produit contre le piston une onde de condensation qui se propage le long du cylindre, se réfléchit sur le fond et ne disparaît que quand les frottements sur les parois ou la viscosité du gaz ont annulé sa force vive. La variation de pression tend à entraîner une variation de température correspondante, qui ne pourra être compensée que par une cession de chaleur du gaz aux parois, cession qui ne pourra évidemment pas s'effectuer avec la même rapidité de la part de toute la masse du gaz, et l'équilibre ne s'établira finalement que par l'action de la conductibilité et du rayonnement. Tous ces phénomènes accessoires sont irréversibles et nous arrivons à cette conclusion qu'il est impossible de *réaliser* d'une façon réversible la compression isotherme d'un gaz ou plus généralement une modification quelconque; la pile ne présente rien d'exceptionnel à ce point de vue.

Les raisonnements qu'on fait en thermodynamique sur des cycles réversibles ne sauraient donc s'appliquer à des phénomènes réels ; il n'en résulte pas qu'ils ne puissent rien nous apprendre touchant ces phénomènes. Etudions une transformation réelle dans laquelle nous sachions trouver l'expression de toutes les quantités qui interviennent; cette transformation sera irréversible et nous devrons appliquer l'inégalité générale qu'on déduit du théorème de Carnot. Mais de cette inégalité même, nous pourrons déduire, dans certains cas, une égalité. Supposons, en effet, que nous ayons démontré qu'on a dans les cas possibles

$$(A - A')\, x + Bx^2 \geqq 0,$$

il en résulte nécessairement A, A' et B étant des constantes,

$$A = A',$$

sans quoi, pour les valeurs de x suffisamment voisines de o, Bx^2 étant infiniment petit du second ordre, le premier membre aurait le signe de $(A-A')x$ qui peut être négatif. Si x est une intensité de courant, $(A-A')x$ représentera une quantité qui change de signe avec le courant, Bx^2 sera la chaleur de Joule et malgré la présence de ce terme on pourra démontrer en toute rigueur que les deux coefficients A et A', relatifs à la partie réversible du phénomène sont égaux. C'est le même résultat qu'on obtiendrait en négligeant Bx^2 et remplaçant l'inégalité par l'égalité, vraie seulement pour les transformations réversibles. Il suffira de faire une fois cette remarque pour légitimer tous les raisonnements plus concis qu'on pourra faire par la suite.

Pour s'approcher autant que possible des conditions de réversibilité, il faut rendre l'intensité du courant très faible ; il importe de remarquer que cette diminution doit être opérée de façon à rendre négligeable la quantité de chaleur irréversible par rapport aux autres. Soit une pile de force électromotrice constante E, fournissant un courant dans une résistance R; pour ap-

procher de la réversibilité, il faut réduire l'intensité du courant par l'introduction d'une force électromotrice de sens contraire E'; les quantités proportionnelles à l'intensité du courant auront pour expression

$$A\frac{(E-E')}{R};$$

la quantité de chaleur dégagée en vertu de la loi de Joule pendant l'unité de temps sera

$$\frac{1}{J}\frac{(E-E')^2}{R}.$$

Ainsi, la pile fonctionnera avec une très grande lenteur, si E' est très voisin de E, mais au bout d'un temps très long, tandis qu'il aura passé dans le circuit une quantité d'électricité finie, il ne se sera dégagé dans les résistances qu'une quantité de chaleur infiniment petite; on aura donc bien réduit l'effet Joule à n'être plus qu'une fraction négligeable de la quantité totale de chaleur dégagée; les formules qu'on obtiendra en négligeant purement et simplement la partie irréversible du phénomène seront donc vraies à la limite; si elles ne contiennent que des quantités qui, comme la force électromotrice ou le coefficient de l'effet Peltier, sont indépendantes de l'intensité du courant, elles seront encore applicables au cas réel où les courants ont des intensités finies.

Supposons que la force électromotrice E' soit celle d'un moteur actionné par la pile, on sait que, si le courant tend vers zéro, le rendement du moteur tend vers l'unité; le produit de la force électromotrice par la quantité d'électricité débitée représente le travail extérieur que peut fournir ce moteur. Cette remarque nous permet de fixer avec plus de précision l'analogie entre l'effet Joule et les dégagements de chaleur irréversibles qui accompagnent une transformation quelconque. L'échauffement des conducteurs est bien un effet parasite de l'ordre de ceux que nous avons considérés plus haut et que l'on peut réduire autant que l'on veut, en opérant avec une lenteur suffisante. L'importance de cet effet, comparé aux phénomènes analogues qui se produisent dans la détente d'un gaz, est la raison qui a empêché longtemps d'apercevoir le parallélisme exact. Une pile qui fonctionne sans actionner de moteur, de façon à perdre sous forme de chaleur toute l'énergie qu'elle pourrait fournir à un moteur est comparable à un gaz qui se détend sous un piston dont les frottements contre les parois du cylindre sont suffisants pour faire équilibre à chaque instant à la pression, de telle sorte qu'on ne recueille aucun travail, mais uniquement la chaleur dégagée par ces frottements.

Le rendement. — J'ai rappelé, en commençant, une erreur très commune qui consiste à comparer une pile à une machine thermique. Cette assimilation est absolument injustifiée; une pile transforme de l'énergie chimique en énergie mécanique ou calorifique; les phénomènes dont elle en est le siège ne constituent nullement un cycle fermé, comme celui des machines thermiques que considérait Carnot.

Il est clair, dès lors, que le *rendement* que l'on pourra considérer dans les deux cas, aura des significations différentes. Dans une machine à vapeur, on fournit une certaine quantité de chaleur et on cherche à obtenir le plus de travail possible; si l'on s'impose la condition que le cycle décrit par le fluide qui sert d'agent de transformation soit fermé, le principe de Carnot donne la fraction maxima de chaleur qui peut être transformée en travail. Dans la pile, on dépense une certaine quantité de matières diverses qui, après le fonctionnement, se retrouvent sous une forme qui ne permet plus de les utiliser; la réaction chimique a été accompagnée d'une variation de l'énergie du système; nous avons pu en même temps produire de la chaleur ou du travail; quelle relation y a-t-il entre ces diverses quantités? Le principe de la conservation de l'énergie nous donne une équation : la quantité totale

d'énergie que nous avons pu recueillir sous une forme quelconque est équivalente à la quantité de chaleur qui se serait dégagée si on avait laissé la réaction s'accomplir dans les conditions ordinaires; les expériences de Favre et Silbermann vérifient suffisamment cet énoncé. Mais il nous est impossible de dire *a priori* quel sera le rapport, positif ou négatif, supérieur ou inférieur à l'unité, entre l'énergie de la réaction chimique et le produit de la force électromotrice par la quantité d'électricité, produit qui représente le maximum de la quantité de travail extérieur qu'on pourrait produire en lançant le courant dans un moteur. Nous nous rendrons compte de cette impossibilité en choisissant parmi des phénomènes simples, ceux qui présentent des analogies véritables avec le fonctionnement d'une pile. Ces phénomènes sont les transformations à température constante; quand ils s'accomplissent par voie réversible, ils sont accompagnés d'un travail extérieur dont le signe est sans relation avec la variation d'énergie.

Par exemple, quand la glace fond, son énergie augmente, et il y a absorption de travail; quand l'eau se vaporise, il y a encore augmentation d'énergie mais production de travail; enfin dans la simple variation de volume isotherme d'un gaz parfait, la variation d'énergie est nulle, quel que soit le travail extérieur.

Ainsi, dans une modification physique isotherme, il n'y a aucune relation nécessaire d'inégalité entre la variation d'énergie du corps et la quantité de travail extérieur qui peut être produit ou absorbé; il en sera évidemment de même pour la pile, qui est le siège de réactions chimiques. Le *rendement* qui nous intéresse étant précisément ici le rapport de la variation d'énergie chimique, proportionnelle à la quantité des substances dépensées, à la quantité d'énergie qu'on peut recueillir sous forme de travail ou de chaleur de Joule, peut avoir une valeur quelconque; son signe même n'est pas déterminé.

La différence entre l'énergie voltaïque et l'énergie chimique est un terme proportionnel à la quantité d'électricité; cette quantité ne peut apparaître que sous forme de chaleur, positive ou négative; c'est en somme la *chaleur latente* qui accompagne le passage de l'électricité d'un pôle à l'autre de la pile, supposée maintenue à température constante.

L'existence de ce terme est liée à la variation de la force électromotrice en fonction de la température, comme la chaleur latente des changements d'état physique dépend de l'influence de la pression sur la température à laquelle ils se produisent.

Nous arriverons peut-être à sentir encore mieux combien est fausse l'analogie entre le fonctionnement d'une pile et celui d'une machine à vapeur en considérant un instant ce que serait dans une pile l'équivalent d'un cycle de ces machines, c'est-à-dire un cycle fermé à température variable: il ne viendra à l'idée de personne, quand une pile est épuisée, de la porter à une température où sa force électromotrice soit moindre et de la régénérer à cette température par un courant de sens inverse. Ce serait acheter bien cher le droit de pouvoir appliquer le principe de Carnot à un cycle fermé et l'assurance que le *rendement*, défini comme dans les machines thermiques, est inférieur à l'unité.

L'extension du principe de Carnot. — Une dernière difficulté subsiste : nous avons pu établir un parallélisme complet de propriétés entre la pile et les systèmes les plus simples que l'on considère en thermodynamique; mais est-il certain que nous ayons le droit d'appliquer ici le principe de Carnot ?

Ce que nous avons montré c'est qu'on pouvait mettre en évidence dans le cas de la pile, les quantités qui interviennent dans les raisonnements de la thermodynamique, avec leur signification vraie, mais comment pourrons-nous faire décrire à une pile un cycle de Carnot ? Et, d'autre part, est-il certain que le principe, énoncé pour des corps simples, s'applique encore à des systèmes qui sont le siège de modifications chimiques ?

A la première de ces questions il suffit de

répondre qu'il n'est pas nécessaire, pour appliquer à un système les conséquences de l'égalité $\int \frac{dQ}{T} = 0$, d'avoir répété sur lui tous les raisonnements classiques qui servent à établir cette relation fondamentale. On pourrait évidemment concevoir un cycle de Carnot décrit par une pile, mais si l'on a quelque difficulté à se le représenter, on peut très bien s'en passer.

Il suffit de considérer un cycle fermé réversible non isotherme; à l'aide de cycles de Carnot auxiliaires, décrits par exemple par un gaz parfait, on ramènera toutes les quantités de chaleur dégagées dans le premier cycle à une même température; en vertu du principe de Carnot, la quantité totale dégagée à cette température unique doit être nulle; d'où résulte immédiatement l'égalité de Clausius pour un système quelconque.

Le principe de Carnot s'applique-t-il aux phénomènes chimiques? Beaucoup de physiciens pensent que non, ne considérant comme parfaitement rigoureux que les raisonnements faits sur les fluides ou les solides simples; d'autres, frappés du fait qu'il est impossible de tracer une ligne de démarcation absolue entre les domaines de la physique et de la chimie, considèrent comme légitime *a priori* l'extension la plus générale du principe. Ce raisonnement ne me parait pas très convaincant : dire qu'il n'y a aucune distinction possible entre les phénomènes physiques et les phénomènes chimiques et en conclure que le principe de Carnot, admis pour les uns, est nécessairement vrai pour les autres, c'est supposer ce que l'on veut démontrer. C'est, au contraire, en prouvant que les conséquences du principe sont vérifiées dans les deux cas, qu'on établira qu'il n'y a pas, à ce point de vue, de distinction à établir entre les deux ordres de phénomènes. Pour cette démonstration, il faut s'en remettre à l'expérience : le principe de Carnot ne contient, dans son énoncé, rien qui vise la nature des modifications internes que peut subir un système ; il n'a trait qu'aux manifestations extérieures : chaleur et travail; nous pouvons donc, par des raisonnements inattaquables au point de vue logique, en déduire les conséquences sans nous préoccuper de la nature physique ou chimique des phénomènes; c'est ce qu'ont fait les savants dont nous analyserons les travaux dans la seconde partie de ce travail. Les formules établies, c'est leur comparaison avec les résultats expérimentaux qui montre seule dans quelles limites le principe de Carnot est applicable aux phénomènes dont la pile est le siège.

(A suivre.)

C. RAVEAU.

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ [1]

Le *servo-moteur électrique* de MM. SAUTTER *et* HARLÉ fonctionne d'une façon très simple, facile à saisir par l'examen du schéma (fig. 1).

Les cadrans du manipulateur A et du récepteur B ont chacun deux graduations et deux aiguilles a, a_1, a_2 et a_3, dont la grande fait un tour quand la petite se déplace d'une division, et les graduations sont reliées chacune à un rhéostat sectionné: 2 et 2_1 pour A, 2_2 et 2_3 pour B, intercalés dans le circuit à deux fils qui relie A à B, ainsi que les inducteurs C et D des moteurs à armatures N et N_1, identiques et de torques opposés. Le courant arrive par 1, 1, au manipulateur A, d'où il se bifurque : 1°, partie par le rhéostat de la grande aiguille a_1, cette aiguille, le cercle de contact b, le fil 2, 2, l'armature N de C, correspondant à la grande aiguille du récepteur B et le retour 4 ; 2°, partie par le rhéostat r de la petite aiguille a, b_1, 3, 3, 5, l'armature N_2 de D, correspondant à la petite aiguille de B et le retour 6, 6, 4. La seconde armature N_1 de C reçoit son courant par 24, 7, 7, le rhéostat r_3 de la grande aiguille a_3, b_2, 8, N_1 9, 4,

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 201; 30 janvier 1897.

12, 24 et la seconde armature N_3 de D le reçoit par 24, 7, 7, r_2, a_2, b_3, 10, 11, 4, 23. Quand on détruit, en tournant A, l'équilibre des armatures N et N_1 leur rotation envoie, par des contacts appropriés, un courant dans un double relai H G, qui commande le circuit du moteur asservi M, de manière à le faire tourner H à droite et C à gauche, en fermant par leurs armatures l, l_1, les contacts $(g\,h\,f\,e)$ $(e_1 f_1 g_1 h_1)$.

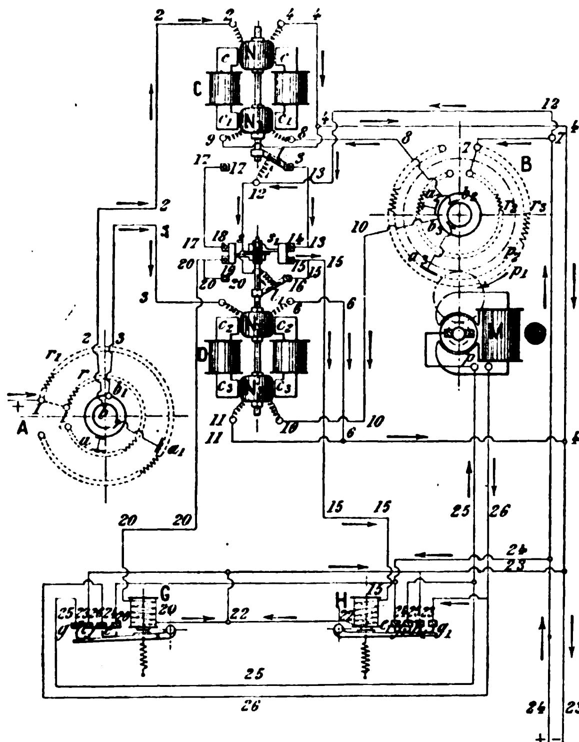


Fig. 1. — Servo-moteur électrique Sautter-Harlé (1896). Schéma de l'ensemble.

Le courant arrive, par 24, 12, 12 d'abord au balancier l (fig. 2) maintenu, par les ressorts antagonistes t, t_1, en équilibre entre les contacts 13 et 17 : dès que l'équilibre est rompu entre N et N_1, l ferme 13, et le courant passe par 13, 14 au contact 15 de l_1 (fig. 3 et 4), puis, si l_1 est en équilibre, par S_1 et 15 à H, puis au retour 22, 23. Si l_1 est déséquilibré dans la position figure 3, le courant passe encore par 14, 15 à H, avec une dérivation par 12, l_1, 16 ; et, de même, quand l_1 ferme 16 et l 17, c'est le courant dérivé par 12, l_1, 16, 15 qui seul excite H, pour la rotation à droite. Le relai C, pour tourner à gauche, est excité de même par les fermetures de 17 par l et de 18, 19, 20 par l_1.

Tant que le système est en équilibre, les aiguilles de A et de B occupent des positions identiques, il ne passe pas de courant en M. Si l'on tourne la grande aiguille a_1 de A dans le sens des aiguilles d'une montre, ou à droite, l'équilibre est rompu en C, puisque l'intensité des courants n'est plus égale en N et N_1; l'armature l ferme 13 et le courant passe par

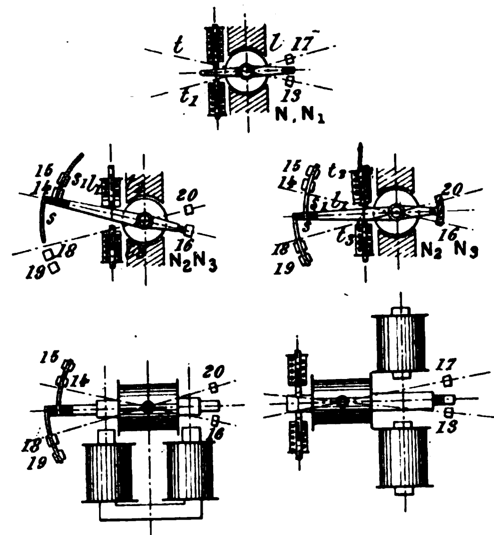


Fig. 2 à 6. — Servo-moteur Sautter-Harlé. Détails des relais de contact.

14 et 15, car les armatures N_1, N_2, sont en équilibre, de sorte que H, attirant son armature comme en figure 1, fait passer le courant moteur en M par 24, e_1, f_1, 23, de manière que M, se met à tourner à droite, entraînant l'aiguille a_3 de B, jusqu'au rétablissement de l'équilibre quand a_3 redevient parallèle à a'. Le relai G fait de même tourner M et a_3 à gauche quand on tourne a_1 à gauche.

Quand a_1 fait plus d'un tour, dès qu'elle dépasse le dernier contact du rhéostat 2_1, le courant augmente brusquement, et change la direction des courants en N, et N_1; d'autre part, l'aiguille a_3, arrivée à l'extrémité de son rhéostat, se ralentit, de sorte que l'intensité du courant transmis par le rhéostat de B dimi-

nue, l rompt son contact 13 et ferme 17, ce qui, s'il ne se produisait aucun changement en D, enverrait par 17, 18, 19, 20, en C, un courant, et ferait tourner M à gauche ; mais ce mouvement n'a pas lieu, parce que l'aiguille a_1 fait, au bout d'un tour, avancer a d'un cran, ce qui, rompant l'équilibre en D, fait amener, par N_1 N_2, l'armature l_1 dans la position figure 3, de manière à maintenir le courant sur le relai H... ; et de même pour la rotation opposée de M.

On peut, en multipliant les aiguilles et les rhéostats, arriver à une précision très grande : avec 3 aiguilles, 3 rhéostats divisés en 20 parties et 3 électos. C, D, F, on peut obtenir 8 000 divisions de la circonférence, ou commander B à 3 minutes près, exactement, et sans augmenter le nombre des fils qui relient A à B.

On peut ainsi que l'indiquent les figures 5 et 6, remplacer les armatures N et N_1, par un électro polarisé en équilibre entre les contacts 16 et 20 tant qu'il est traversé par des courants égaux.

(*A suivre.*)

G. RICHARD.

MESURE DES RÉSISTANCES [1]

MÉTHODE DIFFÉRENTIELLE

Quand les deux circuits d'un galvanomètre différentiel sont mis en dérivation l'un sur l'autre, de manière à être parcourus par le courant en sens opposés, si l'équipage reste immobile lorsque le courant passe, c'est que les intensités sont égales, et les résistances identiques.

Prenons, par exemple, un galvanomètre différentiel (fig. 4), dont les deux circuits ont des résistances égales ; relions les circuits en 1, de façon que l'action du courant soit opposée dans chacun d'eux ; plaçons en R et en x, un rhéostat et la résistance à mesurer, réunis en 2. Si le galvanomètre reste au zéro

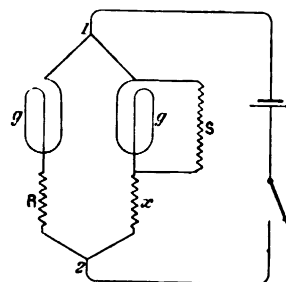


Fig. 4. — Méthode différentielle.

quand le courant passe, les intensités sont égales,

$$\frac{1}{g+R} = \frac{1}{g+x};$$
$$R = x.$$

Quand le circuit g est shunté par une résistance S, le pouvoir multiplicateur et la résistance deviennent :

$$m = \frac{g+S}{S}, \quad g_1 = \frac{gS}{g+S} = \frac{g}{m}.$$

Pour que, dans les conditions de la figure 4, il y ait encore équilibre, il faut que l'intensité en x, soit m fois l'intensité en R :

$$\frac{m}{R+g} = \frac{1}{x+\frac{g}{m}} = \frac{m}{mx+g},$$

donc :

$$R = mx.$$

Ceci montre qu'il est possible, avec un rhéostat R de valeur limitée, d'augmenter notablement l'échelle des mesures ; en effet, si x est plus petit que R, on met le shunt du côté de la résistance x, on le met du côté du rhéostat R quand c'est celui-ci qui est le plus faible.

Avec un rhéostat R analogue à celui des boites à pont, c'est-à-dire variant de 1 à 10000 ohms, et avec un galvanomètre différentiel muni d'un shunt dont les résistances sont : $\frac{1}{9}$ et $\frac{1}{99}$, d'un seul circuit, on a un ensemble équivalent à une boite à pont avec un galvanomètre ordinaire.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 3 avril 1897, p. 59.

Deux conditions limitent principalement l'exactitude de cette méthode : l'égalité plus ou moins parfaite de l'action des deux circuits sur l'équipage et l'égalité des résistances ainsi que l'exactitude du shunt. La précision du rhéostat R intervient comme dans le pont de Wheatstone, mais elle est presque toujours plus grande qu'il n'est nécessaire étant données les causes d'erreurs précédentes.

L'égalité des deux circuits se vérifie en mesurant la constante d'un des circuits seul, puis la constante des deux circuits réunis en opposition, c'est-à-dire en tension et de manière que leurs actions se détruisent. Le rapport de ces deux constantes donne la valeur de l'erreur relative commise de ce chef; bien entendu on règle l'égalité quand la construction du galvanomètre le permet. Pour connaître le circuit dont l'action est prépondérante, il suffit d'observer le sens de la déviation quand les deux circuits sont opposés.

L'égalité des résistances se vérifie en mettant les deux circuits en dérivation ; si le galvanomètre reste au zéro, il y a égalité ; dans le cas contraire, on corrige le défaut, si cela est possible, en ajoutant les résistances au circuit le plus faible.

L'erreur causée par l'inégalité des résistances est d'autant plus grande que la résistance x est plus petite par rapport à g. L'erreur due à la différence d'action est constante.

L'inexactitude du shunt amène des erreurs importantes, car les moindres différences de température du galvanomètre et de son shunt produisent des variations de m, inconnues mais généralement grandes.

Sans shunt, il est toujours facile de déterminer la valeur exacte de x, il suffit de faire deux mesures, R_1 et R_2, en intervertissant les positions relatives de R et x ; on a alors :

$$x = \frac{R_1 + R_2}{2}.$$

Lorsque, par suite de la division insuffisante du rhéostat R, il est impossible d'atteindre l'équilibre parfait, on procède par interpolation, comme avec le pont de Wheatstone, en mesurant les déviations de sens contraires produites par deux résistances R' et $R' + 1$.

Dans cette méthode, les erreurs systématiques, dues aux galvanomètres différentiels, sont généralement plus grandes que les erreurs accidentelles causées par le défaut de sensibilité ; c'est probablement pour cette raison que l'emploi des galvanomètres différentiels est assez restreint, sauf en Allemagne, où ils sont encore assez répandus.

MESURE DES FAIBLES RÉSISTANCES

Lorsque les résistances à mesurer sont inférieures à un ohm, les méthodes précédentes donnent souvent des résultats inexacts, à cause de la résistance des contacts qui établissent la liaison de la résistance à mesurer avec les autres ; on emploie diverses méthodes destinées à éliminer ces contacts, tout au moins à les rendre négligeables.

Dans le pont à neuf conducteurs de Thomson, la résistance inconnue x (fig. 5), est reliée en série avec une barre R, de maillechort ou d'un autre alliage, dont la résistance par unité de longueur est connue ; R et x sont reliées à une pile E au moyen d'une clef K.

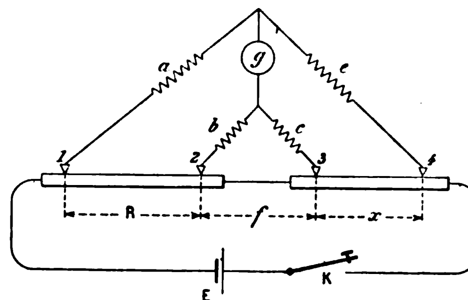


Fig. 5. — Schéma du pont de Thomson.

Quatre résistances, a, b, c et e sont disposées comme l'indique la figure et réunies par un galvanomètre g ; l'ensemble représente un pont de Wheatstone auquel on a ajouté les branches b, c et f ; b et c forment une seconde paire de bras de proportion, d'où le nom de

pont double donné quelquefois à cette disposition.

Si l'on cherche la condition nécessaire pour que le galvanomètre reste au zéro, on voit que, au moment où cet équilibre est atteint, le courant en a est de même intensité qu'en e ; l'intensité I en R est égale à celle de la branche x ; enfin, dans les branches b et c, l'intensité a pour valeur :

$$i = \mathrm{I}\frac{f}{b+c}.$$

Puisque le courant est nul en g, les points de liaisons de g doivent être au même potentiel, on doit donc avoir entre 1 et g d'une part, 4 et g d'autre part, le même rapport des chutes de potentiel qu'entre a et e :

$$\frac{a}{e} = \frac{\mathrm{RI}+bi}{x\mathrm{I}+ci} = \frac{\mathrm{R}+fb}{x+fc}.$$

Quand on a $c\,a = e\,b$, l'égalité est satisfaite pour :

$$x = \mathrm{R}\frac{e}{a};$$

en pratique on fait généralement $a = b$, et $c = e$.

Dans cette méthode on obtient l'équilibre en faisant, pour une valeur déterminée de $\frac{e}{a}$, varier R, par le déplacement d'un des points de contact 1 ou 2 sur la barre étalonnée ; la résistance R est alors exprimée en fonction de la longueur de la barre comprise entre les points 1 et 2. On peut, lorsqu'on dispose de différents rapports $\frac{e}{a}$, faire, au moyen d'une seule barre étalonnée, des mesures comprises entre des limites très étendues. Le moyen le plus simple et le plus commode pour composer les quatre branches a, b, c, e,, consiste à prendre deux séries de bras de proportion de ponts de Wheatstone, ce qui permet de faire varier simultanément a et b, c et e, et de prendre pour $\frac{e}{a}$ des rapports décimaux.

Les résistances des contacts sont assez bien éliminées dans cette disposition, si l'on a soin de placer les points de dérivation 3 et 4, *en dedans* des conducteurs qui amènent le courant principal. Les contacts 3 et 4 ont eux-mêmes une résistance qui n'est pas toujours très petite, mais devant les valeurs de c et e, cette résistance est négligeable. Un exemple fera mieux comprendre la disposition à employer. Soit à mesurer la résistance par unité de longueur d'une barre métallique : la jonction f de la barre à mesurer avec l'étalon R, ainsi que la jonction avec la pile, seront faites aux bouts de la barre, au moyen de contacts aussi bons que possible mais sans chercher à les rendre négligeables. Deux couteaux, maintenus à une distance connue et reliés chacun aux points 3 et 4, sont alors mis en contact avec la barre, entre les connexions extrêmes ; dans ces conditions la différence de potentiel entre les couteaux n'est pas modifiée par les résistances des contacts.

La méthode est une réduction à zéro du galvanomètre, mais elle procède par déviation quant à la mesure de R, de telle sorte que la précision est limitée par la longueur de la barre mesurée. Lorsque le rapport $\frac{a}{e}$ varie de 10 en 10, si on mesure une résistance un peu plus grande que celle qui correspond à la barre R entière, il faut changer le rapport, ce qui rend la longueur mesurée 10 fois plus petite ; l'erreur de lecture est maximum dans ce cas. Cette règle n'est pas absolue, car à l'erreur de lecture proprement dite, s'ajoute souvent l'incertitude de position due au manque de sensibilité du galvanomètre ; ce défaut de sensibilité s'atténue quelquefois par le changement de rapport et il en résulte une précision plus grande de la mesure.

Pour connaître l'erreur relative il faut connaître l'intensité du courant qui traverse le galvanomètre quand l'équilibre est rompu par une augmentation dx de la résistance x. La loi de Kirchhoff permet de calculer cette intensité, mais au moyen d'un calcul un peu long ; on peut arriver au même résultat de la façon suivante : quand l'équilibre est bien

**

établi, une augmentation infiniment petite dx de x, n'amène aucun changement appréciable de l'intensité I, mais, vis-à-vis des autres circuits, cette augmentation agit comme le ferait l'introduction d'une faible force électromotrice $\mathrm{I}dx$ dans la branche x; le courant engendré dans ces conditions passe au travers des résistances c, e et du galvanomètre g shunté par $a+\mathrm{R}+b$; puisque nous admettons que l'intensité I n'a pas changé, nous pouvons négliger la branche f et celle de la pile. On trouve ainsi que l'erreur relative est :

$$\frac{dx}{x}=\frac{2e+g\left(1+\frac{e}{a}\right)}{\mathrm{I}x}\,\frac{d_0}{\mathrm{F}m}.$$

Comme on est obligé de donner aux branches a, b, c, e, des valeurs assez élevées pour éliminer, autant que possible, les résistances des contacts 1, 2, 3 et 4, il faut employer un galvanomètre dont la constante $\mathrm{F}m$ soit aussi elevé que possible et augmenter l'intensité I. Les faibles résistances que l'on mesure par ce moyen sont presque toujours capables de supporter des courants intenses, on n'est limité dans cette voie que par la barre étalonnée R ; en général, les instruments spéciaux à ces mesures, peuvent supporter facilement plusieurs ampères ; le diamètre et la nature de la barre employée fournissent à cet égard des renseignements suffisants.

La plus grande difficulté pratique de cette méthode tient aux erreurs fréquentes que l'on commet dans les connexions; il existe aujourd'hui un assez grand nombre d'appareils dans lesquels ces erreurs sont évitées en réduisant les liaisons au strict minimum, l'appareil décrit précédemment (t. IX, p. 362, fig. 20) en est un modèle. Il suffit dans cet instrument, de relier la résistance à mesurer, d'une part, aux bornes appelées *courant,* qui amènent en effet le courant dans la résistance, d'autre part, les bornes *dérivation* aux deux points entre lesquels on doit faire la mesure ; enfin on attache les conducteurs de la pile et du galvanomètre aux bornes indiquées. La manipulation est ensuite analogue à celle d'un pont de Wheatstone à fil, sauf que l'on fait varier le rapport $\frac{e}{a}$ par le simple déplacement du curseur diamétral.

A côté de cette méthode qui exige des appareils et des montages un peu compliqués, il en existe de plus simples qui peuvent rendre de grands services en pratique.

On peut, à l'aide d'un galvanomètre quelconque, à miroir ou à index, comparer deux résistances *du même ordre de grandeur;* il suffit de les relier en série et de les faire parcourir par le même courant. Le galvanomètre étant mis en dérivation, successivement, sur chacune d'elles, dévie de quantités différentes si les résistances ne sont pas égales; mais si on peut faire varier une des deux, on amènera les déviations à être égales et on aura $\mathrm{R}=x$. Cette méthode simple est applicable quand on possède une barre métallique étalonnée sur laquelle on peut prendre des longueurs convenables.

Un autre moyen, d'un emploi également facile quand on dispose d'une boîte de résistances et d'un étalon de faible résistance, consiste à amener l'égalité de déviation en augmentant ou en diminuant la résistance du circuit dérivé; soit g la résistance du galvanomètre, r, celle de la boîte quand le galvanomètre est en dérivation sur l'étalon R, r' la valeur correspondante pour x, on a :

$$x=\mathrm{R}\frac{g+r'}{g+r}.$$

Enfin, avec les galvanomètres à miroir ou à déviations proportionnelles, on laisse la résistance du circuit dérivé constante, et on compare les déviations d et d' obtenues en mettant le galvanomètre sur R et sur x, ce qui donne :

$$x=\mathrm{R}\,\frac{d'}{d}.$$

Dans ce dernier cas, le galvanomètre doit être très résistant par rapport à R et x.

Une autre méthode, qui n'est d'ailleurs

que l'extension de la précédente, consiste, lorsqu'on dispose d'un voltmètre et d'un ampèremètre étalonnés, de graduation convenable, à lancer, dans la résistance à mesurer et dans l'ampèremètre, un courant dont l'intensité est indiquée par ce dernier; le voltmètre, placé en dérivation sur la résistance inconnue, indique en même temps la différence de potentiel; la valeur cherchée est :

$$x = \frac{E}{I}.$$

MESURE DES GRANDES RÉSISTANCES

Lorsque les résistances à mesurer atteignent et dépassent le megohm, la méthode du pont de Wheatstone devient d'un emploi difficile; il y a d'ailleurs peu de boîtes de résistances permettant de dépasser 10 megohms; dans ce cas on emploie les méthodes de déviation.

Une pile, de force électromotrice E et de résistance β, a un de ses pôles relié directement à un galvanomètre g, l'autre pôle est également relié au galvanomètre, mais par l'intermédiaire de la résistance à mesurer. Le galvanomètre étant shunté et son pouvoir multiplicateur étant m_1, on observe une déviation d_1. Si on répète ensuite la même observation avec une résistance *connue* R, une autre pile E_2, β_2, et un nouveau pouvoir mulplicateur m_2, on obtient une seconde déviation d_2. Le galvanomètre employé étant proportionnel, on a :

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{E_1}{E_2} \frac{R + \beta_2 + \frac{g}{m_2}}{x + \beta_1 + \frac{g}{m_1}} \frac{m_2}{m_1}.$$

Comme, en pratique, cette méthode s'applique toujours à des résistances R et x assez grandes, vis-à-vis de β et g, on peut négliger ces facteurs et écrire :

$$x = \frac{E_1}{E_2} \frac{m_2 d_2}{m_1 d_1} R.$$

La précision des résultats est limitée, comme dans toutes les méthodes de déviation, par la grandeur de d_1 et d_2; mais le rapport $\frac{E_1}{E_2}$ doit aussi être connu exactement. Pour éliminer cette dernière cause d'erreur, on fait souvent les deux mesures en employant la même force électromotrice, ce qui rend le rapport égal à 1; mais ce moyen exige, surtout lorsqu'on fait usage de galvanomètres très sensibles et de grandes forces électromotrices, l'emploi d'une résistance R très élevée et d'un shunt dont le pouvoir multiplicateur soit très grand.

Pour pouvoir négliger B et $\frac{g}{m}$, il faut donner à R une valeur d'au moins 10 000 ohms;

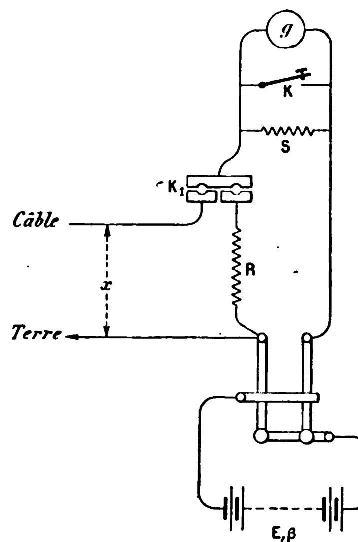


Fig. 6. — Mesure des isolements.

on emploie plus fréquemment 100 000 et même 1 meghom. Avec les galvanomètres apériodiques, qui sont assez peu sensibles, on se contente en général d'un shunt $\frac{1}{9}$ et $\frac{1}{99}$; pour les résistances très élevées, qu'on a souvent à mesurer pour la réception des câbles, on fait usage de galvanomètres Thomson avec shunt jusqu'à $\frac{1}{999}$.

Pour la mesure des isolements, la disposition des appareils est généralement la suivante (fig. 6). Le galvanomètre g, relié à son shunt S, est protégé, contre les courants trop intenses de la fermeture, par une clef de court circuit K. Un commutateur à fiches K_1 permet

de relier le galvanomètre, soit avec le câble dont on veut mesurer l'isolement, soit avec la résistance de comparaison R; la résistance R et la terre sont réunies sur une des bornes d'une clef d'inversion dont les autres bornes sont connectées au galvanomètre et à la pile. Il est évident qu'une résistance quelconque peut être mesurée par ce moyen, il suffit de l'intercaler entre les points marqués câble et terre.

Pour faire la mesure, on commence par placer la fiche de K_1 sur le plot marqué *câble*, puis, la clef K étant fermée, c'est-à-dire le galvanomètre en court-circuit, on abaisse une des touches de l'inverseur pour envoyer le courant dans la résistance x, le shunt S étant au *plus grand pouvoir multiplicateur*; ceci fait on ouvre la clef K, le galvanomètre dévie, on note la déviation d_1 et le pouvoir multiplicateur m_1; si la déviation est trop petite, on referme la clef K, on modifie le shunt et on recommence. En opérant de même avec R, on obtient d_2 et m_2.

Lorsqu'on mesure un isolement, il faut, autant que possible, employer une force électromotrice de l'ordre de grandeur de celle à laquelle est soumis l'isolant pendant l'usage; cependant, pour les câbles à hautes tensions, il n'est pas facile de faire des mesures avec quelques milliers de volts, on se contente d'*éprouver* le câble sous la tension de marche, puis on la mesure ensuite avec 100 ou 200 volts. On a intérêt à employer des tensions élevées pour faire ces mesures, car il se produit presque toujours des polarisations dont la force électromotrice s'oppose au passage du courant; il en résulte une résistance apparente plus élevée que la résistance réelle. Comme ces forces électromotrices de polarisation n'atteignent guère plus de 1,5 volt, au bout d'un temps variable mais assez long, en prenant $E = 100$ volts, on obtient des résultats assez exacts. Dans beaucoup de cas, surtout pour les mesures faites au dehors, on se contente de piles portatives donnant 40 à 50 volts; l'erreur possible de 3 p. 100 causée par la polarisation est alors négligeable.

Un autre avantage très important des hauts voltages, c'est que les défauts peuvent être décelés, alors qu'ils passent souvent inaperçus avec une tension trop basse.

Pour obtenir des résultats assez comparables dans les mesures d'isolement, il faut toujours *électriser* le câble pendant le même temps, c'est-à-dire qu'il faut le faire traverser par le courant pendant un temps déterminé, on prend souvent une minute; ce n'est qu'au bout de ce temps qu'il faut lire la déviation d_1, laquelle est alors notablement plus petite qu'au début; quand le résultat contraire est obtenu, il y a lieu de craindre un défaut.

L'influence de la température sur la résistivité des isolants est, comme l'on sait, très considérable, aussi il ne faut pas s'étonner si des résultats d'expériences consécutives présentent entre eux des différences plus grandes que l'erreur calculée d'après les conditions de l'expérience. Pour les essais de câbles sous-marins, on plonge ceux-ci dans une cuve d'eau, à température fixe, 25°, et on les y laisse 24 heures; on obtient ainsi une concordance assez grande. Dans la mesure des isolements des circuits, la précision est infiniment moindre, tant à cause de la température que par la variation incessante de la résistance mesurée; on obtient souvent des erreurs supérieures à 10 p. 100, c'est pourquoi l'usage des ohmmètres à lecture directe est presque toujours suffisant.

La précaution qui consiste à fermer le galvanomètre en court-circuit au moment où on va relier le câble à la pile, est absolument justifiée par ce fait que la charge instantanée, du condensateur formé par le câble, provoque un lancé dangereux pour le galvanomètre.

Une autre méthode est quelquefois employée pour les grandes résistances, elle consiste à mesurer la *perte de charge* d'un condensateur, de capacité connue, fermé sur la résistance à mesurer. Si le condensateur était théoriquement parfait, c'est-à-dire sans absorption et d'isolement infini, si la résistance x elle-même était constante, on aurait, comme

nous l'avons vu en parlant des condensateurs,

$$x = \frac{t}{C \log_e \frac{E_0}{E_t}},$$

en appelant E_0 la tension initiale de la charge, E_t la charge restante au temps t et C la capacité.

Malheureusement les meilleurs condensateurs sont loin d'avoir un isolement parfait et une absorption nulle; en outre, par le fait des polarisations, les isolants ont une résistance apparente qui varie, à la fois, avec la *tension* et la *durée* de la charge. Cette méthode donne toujours des résultats différents des autres; quand on l'emploie, il faut avoir soin de prendre un condensateur dont la perte de charge propre est infiniment plus faible que celle donnée par la résistance à mesurer.

Cette méthode peut être prise en sens inverse, c'est-à-dire en mesurant le temps nécessaire pour *charger* un condensateur d'une quantité déterminée, au travers de la résistance x. Sous cette forme, on l'emploie quelquefois pour la mesure des résistances trop grandes pour être observées au galvanomètre, par déviation. On peut faire à ce cas les mêmes objections que ci-dessus.

Dans ces deux dispositions, la mesure du rapport $\frac{E_0}{E_t}$ peut se faire au moyen d'un électromètre très bien isolé; on observe alors le temps t nécessaire pour obtenir une chute déterminée de potentiel, ce qui permet de déterminer une fois pour toutes : $\log_e \frac{E_0}{E_t}$ et, par suite, simplifie les calculs.

On peut aussi mesurer au galvanomètre balistique les quantités renfermées dans le condensateur au temps o et au temps t, le rapport est alors celui des élongations; t reste constant et il faut calculer à chaque fois

$$\log_e \frac{q_0}{q_t}.$$

(*A suivre.*)

H. Armagnat.

REVUE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Raccord électrique des fils aériens à trôlet sur les ponts à bascule.

Le dispositif représenté en figure 1 a été récemment appliqué par l'Allg. Elek. Gesellschaft, de Berlin, aux ponts à bascule que franchissent les tramways électriques du réseau nouvellement installé de Dantzig (voir *L'Éclairage Électrique,* t. X, p. 375).

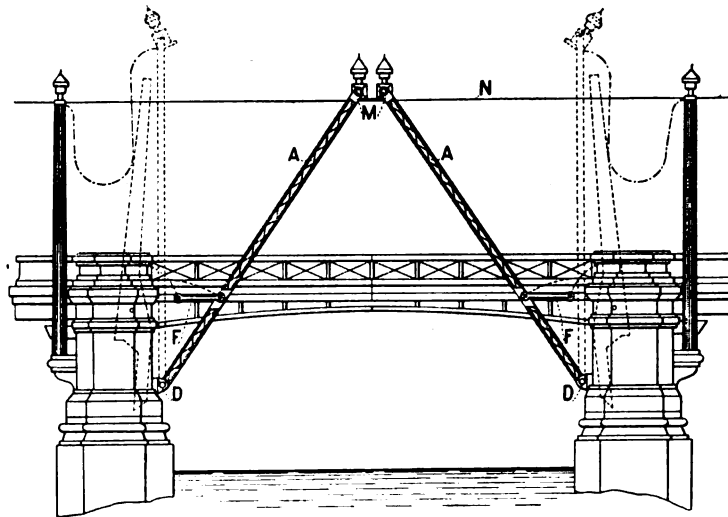


Fig. 1. — Raccord électrique des fils aériens à trôlet sur les ponts à bascule.

Le fil aérien N, ayant un solide point d'attache sur chacun des pylones verticaux que l'on voit aux côtés extérieurs des deux piles du pont, est relié à des lames-ressort M que portent chacune des extrémités internes des deux pylones mobiles A, A à pivot D, D. Les contacts sont établis, comme le montre les traits pleins du dessin; les lignes en pointillés représentent la position prise par chacune des deux parties du pont lors de son ouverture. L. D.

Électrodéposition de l'or et sa récupération ;

Par E. Andréoli [1].

Dans cette communication, l'auteur indique les modifications qu'il a été amené à apporter au procédé Siemens et Halske, procédé qui consiste, comme on le sait, à traiter les minerais d'or par une solution très faible de cyanure de potassium, puis à électrolyser la solution contenant l'or entre des anodes en fer et des cathodes en plomb et enfin à coupeller ces dernières pour en retirer l'or qui s'y est déposé.

L'emploi des anodes en fer offre un inconvénient : elles se dissolvent peu à peu et introduisent ainsi dans la solution de cyanures des composés ferriques qui compliquent l'électrolyse et nuisent à la bonne marche de l'opération ; quant aux autres métaux et même le carbone, ils sont encore plus rapidement dissous. Ayant observé, dans une expérience sur l'électrolyse indirecte des solutions de cyanure de potassium et d'or, qu'une lame de plomb plongée dans le compartiment central, reliée à la cathode et fonctionnant dès lors comme anode, se recouvrait d'une couche très adhérente de peroxyde de plomb, M. Andréoli a été conduit, un peu par le hasard, dit-il, à prendre des anodes en plomb oxydé qui sont tout à fait inattaquables par la solution. Au début, il obtenait ces anodes par formation Planté; aujourd'hui il les prépare plus rapidement en plongeant des lames de plomb dans une solution de plombate de sodium, puis les plaçant, après les avoir lavées, dans une solution concentrée de cyanure de potassium où, sous l'action d'un fort courant, elles se recouvrent d'une couche dure, d'aspect cristallin, de peroxyde de plomb.

Restait à trouver une cathode. En premier lieu, M. Andréoli se servit de lames de zinc, chaque anode étant placée entre deux de ces lames ; les résultats furent satisfaisants, mais le temps considérable requis pour retirer du bain ces nombreuses lames et les y remettre après les avoir débarrassées de l'or qui s'y déposait, rendait le procédé peu pratique. Dans d'autres essais, M. Andréoli prit comme cathodes des lames de cuivre plongeant par leurs extrémités inférieures dans du mercure qui servait de conducteur de sortie du courant; dans ces conditions les connexions des cathodes avec le pôle négatif de la dynamo, se trouvaient établies d'elles-mêmes par le seul fait de plonger ces cathodes dans le bain et la durée de la manutention se trouvait considérablement réduite ; le rendement des appareils était également très satisfaisant, puisque quatre de ces bains permettaient de traiter la même quantité de solution que huit bains ordinaires ; mais ce procédé exigeait, pour obtenir l'or qui se déposait sur les cathodes et s'alliait au mercure, de distiller l'amalgame formé, opération difficile, paraît-il, à faire adopter par les mineurs dont elle changeait les habitudes. Dans ses derniers essais, M. Andréoli tourna cette dernière difficulté en prenant pour cathodes des lames de fer sur lesquelles l'or forme un dépôt adhérent; quand le dépôt est suffisant, on plonge les lames dans du plomb fondu où l'or se dissout, puis quand la teneur en or de l'alliage ainsi formé est assez grande, on soumet à la coupellation.

Le procédé auquel M. Andréoli s'est arrêté se distingue donc des procédés ordinairement adoptés par divers points : en premier lieu, emploi d'anodes en peroxyde de plomb, inat-

(1) Communication faite à la *Society of chemical Industry*, de Londres, le 27 février 1897.

taquables et ne souillant pas la solution qui reste claire; en second lieu, emploi de cathodes en fer pouvant servir indéfiniment; enfin, possibilité d'obtenir un alliage de plomb et d'or contenant une proportion de ce dernier métal assez élevée. J. B.

Les transmissions électriques dans les ateliers;

Par Dugald-C. Jackson [1].

Nos lecteurs ont été, à maintes reprises, tenus au courant des installations effectuées dans cet ordre d'idées et des résultats obtenus, notamment par les articles de M. Gustave Richard et de M. A. Hillairet. L'étude de M. Jackson est d'un ordre tout différent; abandonnant toute discussion théorique, il se borne à résumer les réponses que lui ont données les industriels employant ce procédé de distribution, en réponse aux questions qu'il leur a posées. Bien que la description d'aucune des installations prises comme exemples ne soit donnée et que pas un chiffre précis ne soit cité, ce travail contient différentes opinions intéressantes. Nous les résumerons brièvement.

M. Dugald-C. Jackson étudie la question aux différents points de vue suivants:

A. Dépenses de premier établissement comparées aux transmissions électrique et mécanique.

B. Avantages comparés des deux systèmes dans l'exploitation, comprenant:

1° Les dépenses annuelles en combustible;
2° Salaires et main-d'œuvre;
3° Dépenses annuelles pour réparations;
4° Fréquence et durée des arrêts; portion de l'exploitation totale qui peut être arrêtée par la mise hors d'état d'un des organes;
5° Commodité, en tant qu'étendue de terrain occupée par les machines;
6° Commodité, en tant que facilité de manœuvre des produits fabriqués, soit dans les machines, soit dans les transports;
7° Sécurité;
8° Propreté.

Comme l'achat des génératrices, des conducteurs électriques et des moteurs revient à un prix plus élevé que l'achat des arbres, poulies et courroies correspondantes, il est évident que la transmission électrique ne pourra lutter, au point de vue économique, que si elle procure des économies suffisantes dans l'exploitation.

M. Jackson examine quatorze installations dont la puissance varie de 1 500 chevaux jusqu'à 55 chevaux et se rapportant à tous les genres d'industrie les plus divers, depuis des fonderies, tréfileries, fabriques de locomotives, jusqu'à des filatures et des fabriques de produits pharmaceutiques.

Les propriétaires de toutes ces installations concluent à la plus grande économie de la transmission électrique en ce qui concerne les deux premiers chefs de dépenses; l'un d'eux déclare faire une économie annuelle de charbon égale au 1/3 de la dépense ancienne, avec une installation de 185 chevaux. Seul, le propriétaire de la plus petite installation déclare que la transmission électrique lui coûte plus cher que la transmission mécanique, ce qui se conçoit d'ailleurs aisément, puisque les avantages de la première sur la seconde sont d'autant plus marqués que les pertes d'énergie dans les arbres et les courroies sont plus importantes.

Il en est de même pour les frais d'entretien et de réparations. Tandis que dans les installations importantes les frais de réparations et d'entretien ont été de 25 et même 75 p. 100 moins élevés pour les transmissions électriques que pour les anciennes transmissions mécaniques, dans la petite installation de 55 chevaux, les frais ont, au contraire, été plus élevés. Dans aucun cas, on n'a eu à éprouver de difficulté réelle par suite des arrêts causés par des accidents survenus aux appareils électriques; d'ailleurs, en cas d'accident, une seule machine outil ou un

[1] Conférence faite devant la *Western Society of Engineers*, le 9 décembre 1897.

groupe de ces machines ne représentant qu'une faible partie de l'installation totale est immobilisée, contrairement à ce qui se produirait avec les transmissions mécaniques où un accident arrêterait la presque totalité du service.

Relativement aux commodités apportées par les transmissions électriques, les résultats obtenus dépendent de la nature des objets manufacturés; tandis qu'elles sont très grandes pour les objets lourds et encombrants, elles sont peu sensibles pour les objets faciles à manier. Dans la première catégorie, un des manufacturiers déclare qu'il a pu augmenter de 50 p. 100 la production de ses machines-outils depuis qu'il emploie les transmissions électriques; un autre explique qu'on peut faire tourner les machines beaucoup plus vite par suite de la plus grande souplesse et de la facilité de régulation des moteurs électriques ; ces qualités du moteur électrique ont permis aussi de diminuer la proportion de produits de mauvaise qualité; un troisième déclare aussi qu'il a pu augmenter la production de ses machines en employant les moteurs électriques et fait remarquer qu'un des plus grands avantages de ce mode de transmission de l'énergie électrique réside dans la possibilité d'employer des ponts roulants pour le transport des pièces brutes et finies, ce que l'existence des courroies rendrait impossible avec les transmissions anciennes.

Pour les objets de la seconde catégorie, les avantages sont moins marqués, mais comme, dans ce cas, la propreté est généralement une condition essentielle, la plupart des industriels se déclarent partisans des transmissions électriques; un d'eux ajoute que leur emploi devrait être préféré, même si elles étaient moins économiques au point de vue des dépenses en combustible, par suite de leurs plus grandes facilités de régulation, de leur moindre encombrement et de leur plus grande propreté.

Au point de vue de la sécurité, l'absence des courroies en mouvement est un avantage absolument évident.

Une seule question peut donc, dans la plupart des cas, faire hésiter à adopter les transmissions électriques : c'est la plus grande dépense de premier établissement. Pour des usines à établir, surtout si les produits à manœuvrer sont lourds et encombrants, il n'y a pas à hésiter, l'économie annuelle étant plus que suffisante pour justifier l'excès de dépenses. Lorsque des transmissions mécaniques sont déjà établies, la question devient plus complexe; mais dans nombre de cas, l'hésitation n'est pas possible. M. Jackson cite, par exemple, le cas d'une usine comprenant plusieurs bâtiments isolés ; chacun d'eux nécessitait une installation complète avec machine à vapeur; l'exploitation, y compris les salaires, coûtait très cher. Les transmissions électriques, dans ce cas, permettent une économie considérable. Dans une autre installation, les transmissions mécaniques absorbaient 70 p. 100 de la puissance transmise; l'installation de nouvelles machines-outils reconnues nécessaires aurait entraîné l'établissement d'une nouvelle machine à vapeur. L'emploi de l'électricité a permis d'actionner l'ancien matériel et le nouveau avec le moteur existant.

M. Jackson examine ensuite comment doivent être effectuées les installations de ce genre. Il estime qu'on doit, autant que possible, adopter un matériel permettant d'alimenter à la fois les appareils d'éclairage et les moteurs. Une transmission à 220 volts, soit en courant continu soit en courants polyphasés, donnera à ce point de vue une solution avantageuse. En ce qui concerne la division de la puissance, il pense que toutes les machines puissantes exigeant plus de 5 chevaux chacune doivent être munies d'un moteur séparé, tandis que les machines exigeant une moindre puissance pourraient être avantageusement groupées et entraînées par courroies au moyen d'une petite transmission actionnée par un moteur électrique, de façon que celui-ci n'ait pas une puissance moindre de 3 à 5 chevaux. G. P.

Procédé graphique pour la détermination de la valeur efficace d'une fonction périodique ;

Par Lionel Fleischmann [1].

Ce procédé est fondé sur la détermination graphique du centre de gravité d'une aire. On sait qu'en coordonnées rectangulaires l'ordonnée du centre de gravité d'une surface plane comprise entre l'axe des x, une courbe quelconque $y = f(x)$ et deux ordonnées $x = x_1$, $x = x_2$, est définie par

$$y_1 = \frac{1}{2} \frac{\int_{x_1}^{x_2} y^2 dx}{\int_{x_1}^{x_2} y dx}.$$

Considérons la surface occupée par une demi-période d'une fonction périodique, une différence de potentiel aux bornes, par exemple, nous aurons en remplaçant y par e :

$$\frac{1}{2}\int e^2 dt = e_1 \int e dt,$$

et en divisant par T durée d'une période et prenant la racine carrée :

$$\sqrt{\frac{1}{T}\int e^2 dt} = \sqrt{2 e_1 \frac{1}{T}\int e dt}.$$

Pour calculer e_1 et $\int e dt$ on opère de la manière suivante :

On partage par des parallèles à l'axe des

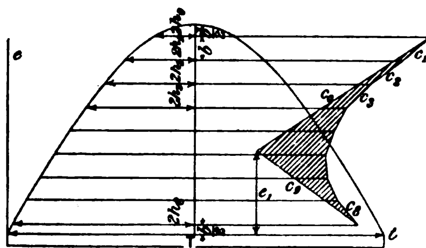


Fig. 1.

temps la surface (fig. 1) en un nombre suffisamment grand de rectangles de même base b (sauf le premier et le dernier qui ont pour base $\frac{b}{2}$); puis sur une droite aa parallèle à l'axe des temps on porte des longueurs proportionnelles aux côtés des rectangles précédents (la moitié de ces côtés pour la figure 2).

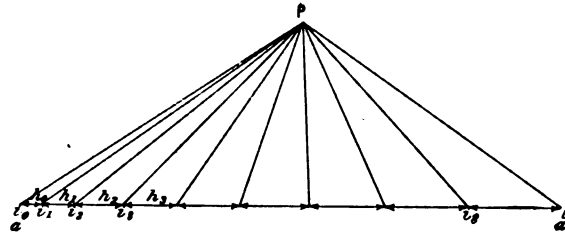


Fig. 2.

Si l'on joint les extrémités $i_0, i_1, i_2, \ldots$ des segments $h_0, h_1, \ldots$ à un point quelconque P, puis si entre les côtés des rectangles on trace les segments c_0, c_1, $c_2, \ldots$ parallèles aux droites Pi_0, $Pi_1, \ldots$ on forme un polygone dont les côtés extrêmes c_0 et c_9 se coupent en point dont l'ordonnée est égale à e_1.

Pour obtenir la valeur de $\frac{1}{2}\int e dt$ il suffit de multiplier les quantités $2h_0$, $2h_1, \ldots$ par b et de faire la somme des résultats obtenus, ou de multiplier par b et par la valeur du rapport de réduction la longueur aa de la figure 2.

Comme vérification, l'auteur a appliqué son procédé à une sinusoïde pour laquelle on a :

$$a = 258, \qquad b = \frac{100}{7} = 11,1, \qquad T = 180.$$

La valeur de e_1 est de 39,5, ce qui conduit pour la valeur efficace à

$$\sqrt{\frac{258 \times 4 \times 11,11 \times 2 \times 39,5}{180}} = 70,94,$$

au lieu de 70,7 que l'on doit obtenir, l'ordonnée maxima étant 100 ; l'accord est donc suffisant pour la pratique. J. R

[1] *Elektrotecknische Zeitschrift* du 21 janvier 1897.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du vendredi 2 avril 1897.

M. Abraham décrit l'*oscillographe à induction Abraham-Carpentier* qui fera l'objet d'un article publié dans notre prochain numéro.

M. Gréhant *a mesuré l'effort maximum que peut produire un muscle isolé à l'aide d'un myodynamomètre à sonnerie.*

Un fémur de grenouille, saisi dans une pince solidement supportée, est entouré d'un fil de cuivre qui amène jusqu'au muscle gastro-cnémien, le courant induit d'un appareil de Du Bois-Reymond; le tendon d'Achille, qui termine ce muscle, est relié à une extrémité d'un fléau de balance qu'on charge de poids; l'autre bras du fléau, en s'abaissant, ferme le circuit d'une sonnerie électrique. En réglant le trembleur de façon à produire des oscillations très rapides qui produisent un tétanos, on constate que le muscle peut soulever jusqu'à 1 200 gr. Dans une expérience de laboratoire on a pu aller jusqu'à 1 500 gr, charge sous laquelle le muscle s'est rompu, par séparation des fibres charnues.

M. Gréhant a étudié l'action des différents poisons sur cette force portante. Les résultats sont presque tous négatifs. Une grenouille peut vivre 24 heures dans l'hydrogène ou dans une atmosphère contenant 50 p. 100 d'oxyde de carbone et 50 p. 100 d'oxygène; dans l'acide carbonique, au contraire, elle paraît absolument morte au bout de peu de temps; cependant dans les trois expériences, la force portante du muscle conserve sa valeur normale. Le curare ne semble exercer non plus aucun effet; la vératrine, seule, qui modifie profondément le tracé musculaire, en y faisant apparaître un crochet, réduit beaucoup le poids maximum que le muscle peut supporter.

M. Villard a observé *une réfraction et une réflexion des rayons cathodiques.*

Un faisceau de rayons cathodiques qui tombe sur une lame métallique mince la traverse et sort normalement à la lame quelle que soit la direction de celle-ci. Le faisceau réfracté est d'autant moins diffus que son intensité est plus grande, il produit les effets de fluorescence et d'échauffement ordinaires; il peut être dévié par l'aimant. L'origine du faisceau réfracté ne saurait être attribuée à une émission nouvelle provenant de la lame fonctionnant comme cathode; il n'apparaît en effet qu'au delà d'une lame suffisamment mince.

On peut observer une réflexion en avant de la lame, à condition que celle-ci ne soit pas la seule anode; elle peut être reliée à l'anode. La trajectoire du rayon, qui repart normalement à la lame, s'infléchit et tend à se rapprocher de la direction primitive, comme ferait une veine liquide, réfléchie par un obstacle solide. En limitant deux faisceaux incidents par un écran percé de trous, on obtient deux faisceaux réfléchis qui peuvent se couper. Ces phénomènes s'observent avec une netteté particulière aux vides où les rayons X apparaissent. Dans des vides moins élevés, on les obtient encore en rapprochant la lame de la cathode. M. Villard présente des photographies directes des rayons réfléchis et réfractés. C. R.

Sur la transformation du diamant en graphite dans le tube de Crookes;

Par Henri Moissan [1].

« M. Crookes [2] a démontré, dans ses belles recherches sur le phénomène qu'il a appelé *bombardement moléculaire*, que si l'on plaçait des diamants dans un de ses tubes, ils ne tardaient pas à perdre leur éclat et à se recouvrir d'une couche noirâtre.

---

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 653, séance du 29 mars.

(2) W. Crookes. *On radiant matter*. Conférence faite à l'Association britannique à Sheffield, le 22 août 1879.

» Ayant assisté, dans son laboratoire, à cette curieuse expérience, je lui demandai quelques diamants ainsi bombardés pour étudier quelle était la variété de carbone qui pouvait se produire dans ces conditions.

» M. Crookes ayant bien voulu m'adresser un diamant dont la surface était complètement noircie par ce bombardement électrique, je l'ai chauffé à 60°, dans un mélange oxydant de chlorate de potassium et d'acide azotique fumant, préparé au moyen d'acide sulfurique exactement monohydraté et d'azotate de potassium, fondu et bien exempt d'humidité.

» L'attaque de cette croûte noire est très lente. Enfin, après quatre traitements successifs, il finit par s'en détacher de petits fragments que nous avons examinés au microscope; ces derniers sont jaunes, transparents et ne présentent pas de forme cristalline. La préparation est alors chauffée avec précaution, et bien avant le rouge sombre, on voit une déflagration se produire; la masse devient noire et augmente de volume. On enlève la lamelle supérieure et l'on ajoute une goutte d'acide nitrique sur la préparation; il suffit de chauffer légèrement pour détruire le dépôt noir qui s'était formé. Il s'est donc produit de l'oxyde graphitique qui, par élévation de température, a donné de l'acide pyrographitique, facilement destructible par l'acide nitrique.

» Cette réaction établit nettement que la variété de carbone qui recouvrait le diamant était du graphite. Après cette quatrième attaque, le diamant n'est pas encore transparent; il est recouvert d'un voile de couleur brun marron. Nous avons établi précédemment que le carbone en poudre très ténue ou en lame très mince possédait cette couleur. Il faut continuer les attaques par le mélange oxydant, pour obtenir une transparence parfaite.

» Cette transformation du diamant en graphite dans l'expérience de M. Crookes démontre que la température atteinte doit être très élevée. M. Crookes avait déjà établi d'ailleurs que, dans ses tubes, on pouvait fondre le platine iridié; mais la température obtenue dans le bombardement est bien supérieure, puisque la transformation du diamant en graphite ne se produit jamais à la pointe du dard bleu du chalumeau à oxygène et qu'elle exige l'intervention de la haute température de l'arc électrique.

» Nous ajouterons que ce graphite présente une grande stabilité, démontrée par la lenteur avec laquelle il est attaqué. Nous savons justement aujourd'hui que plus le graphite a été porté à une température élevée, plus il présente une grande résistance à l'oxydation.

» Avant l'attaque par le mélange oxydant la surface du diamant est noire, lisse, à aspect de plombagine. Après l'attaque complète du graphite la surface est tourmentée, corrodée par places, indiquant que les cristaux s'attaquent davantage dans un sens que dans un autre. Certaines parties sont notablement creusées, la portion la plus tendre a été comme disséquée [1].

» En résumé, dans l'expérience de M. Crookes, la surface du diamant est transformée en graphite, phénomène que nous ne pouvons produire qu'à une température supérieure à 2000°. Nous ajouterons que la stabilité de ce graphite est tellement grande, qu'elle rappelle celle que présente le graphite maintenu dans l'arc électrique, c'est-à-dire aux environs de 3600°. »

Actions mutuelles des électrodes et des rayons cathodiques dans les gaz raréfiés;

Par H. Deslandes [2].

« Dans un mémoire récent [3], j'ai montré que la partie basse de l'atmosphère solaire (chromosphère et protubérances) était très probablement le siège des phénomènes électriques permanents, comparables à ceux de

---

[1] Ce phénomène est général pour les cristaux en voie d'attaque.

[2] *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 678, séance du 29 mars.

[3] Rapport sur les observations de l'éclipse totale du 16 avril 1893 au Sénégal.

notre atmosphère, et j'ai émis l'opinion que la couronne ou partie haute de l'atmosphère solaire et ses rayons caractéristiques étaient simplement les rayons cathodiques émis par la chromosphère supérieure, électrisée et raréfiée ([1]). J'ai attribué la courbure des jets coronaux au champ magnétique solaire et aux actions mutuelles des rayons cathodiques.

» Cependant l'examen des expériences de laboratoire, sur les actions mutuelles des rayons cathodiques, montre que la question n'est pas encore bien éclaircie; et j'ai été conduit à des recherches nouvelles que je présente dans cette note.

» Les expériences classiques sur la matière sont dues à Crookes, à Wiedemann et Ebert.

» Un tube à vide contient deux électrodes voisines (n° 1 et n° 2), et en face d'elles un écran percé de deux fenêtres qui leur correspondent et isolent au delà de l'écran deux rayons cathodiques. J'appellerai partie en deçà de l'écran le côté qui contient les électrodes. Dans la partie au delà, on note sur le verre la position exacte de la plage phosphorescente, lorsque chaque électrode est prise seule comme cathode; puis on réunit les deux électrodes au pôle négatif. On constate un écartement des plages phosphorescentes. Crookes a conclu à la répulsion de deux rayons cathodiques parallèles.

» Puis Wiedemann et Ebert ont ajouté à l'une des fenêtres de l'écran un petit volet qui peut la fermer à volonté; et ils ont reconnu que la déviation des plages phosphorescentes était la même, lorsque la fenêtre-volet était ouverte ou fermée. La répulsion constatée se produit donc, non pas dans la partie au delà de l'écran, mais dans la partie en deçà, du côté des électrodes. Quelques-uns même à ce sujet ont écrit : « Il n'y a pas répulsion entre » deux rayons cathodiques, mais répulsion » entre une cathode et les rayons d'une autre » cathode. »

» Pour ma part, j'ai cherché d'abord à expliquer le phénomène par de simples actions électrostatiques entre les électrodes, sans invoquer aucune propriété spéciale des rayons. Le rayon cathodique est dû à la charge négative forte développée sur l'électrode; toute cause qui modifie cette charge ou sa répartition, comme par exemple le voisinage d'une seconde électrode électrisée, peut agir sur les rayons eux-mêmes. Si la seconde électrode est aussi cathode, les deux charges négatives sont repoussées, de même aussi les rayons, et les deux expériences précédentes s'expliquent aisément.

» Mais, dans cet ordre d'idées, si la seconde électrode est prise comme anode, on doit avoir une attraction. Pour vérifier cette conséquence, j'ai construit un tube à vide analogue au précédent, et disposé de manière à donner de fortes déviations des plages phosphorescentes. Les actions exercées sur le rayon de l'électrode n° 1 sont résumées dans le tableau suivant :

Électrode n° 1.	Électrode n° 2.	Action exercée sur le rayon n° 1.
Cathode.	Anode.	Attraction de 3 mm à 7 mm, suivant la pression ([1]).
Cathode.	Isolée.	0, point origine des déviations.
Cathode.	Reliée à la terre.	Répulsion, 1 mm.
Cathode.	Cathode.	Répulsion, 18 mm.

» Tout se passe comme si l'anode exerçait une attraction.

» Mais, toujours dans le même ordre d'idées, un corps conducteur isolé, ou même un corps isolant doivent agir comme un corps électrisé positivement et produire aussi une attraction.

» Pour vérifier cette deuxième conséquence, j'ai ajouté dans le tube à vide une troisième électrode, placée près de l'électrode n° 1 et pouvant tourner autour d'elle, mais sans inter-

([1]) Cette hypothèse, qui explique bien tous les phénomènes singuliers de la couronne, fournit, en plus, la force répulsive émanée du soleil, que les auteurs ont admise sans préciser sa nature; elle explique aussi la coïncidence entre les orages magnétiques terrestres et le passage de fortes taches près du méridien central du soleil.

([1]) La plage déviée dans le sens de l'attraction est en même temps élargie.

cepter le rayon qu'elle envoie sur la fenêtre [1]. Or, lorsqu'on déplace la troisième électrode, qui est isolée, ce rayon cathodique de la fenêtre suit le mouvement comme s'il était attiré. Pour deux positions opposées de l'électrode n° 3, la déviation atteint 3 mm. Lorsque l'électrode est anode, l'attraction est plus forte et la déviation atteint 4,5 mm.

» J'ai obtenu le même résultat en ce qui concerne le sens de la déviation avec une troisième électrode en fer et en laiton, et même avec une lame de mica. D'où la conclusion :

» *Lorsque, dans le voisinage d'une cathode, on a un corps conducteur ou isolant qui est pris comme anode ou est isolé, tout se passe comme si les rayons cathodiques étaient attirés* [2].

» Mais l'hypothèse des actions électrostatiques ne suffit pas; car, si, dans la partie au delà de l'écran, on place une quatrième électrode, éloignée de l'écran et des autres électrodes, mais voisine du rayon cathodique, on a une forte répulsion, qui, même, paraît d'autant plus forte que le rayon est plus éloigné de son point d'origine.

» Goldstein étant déjà arrivé au même résultat, d'une manière, il est vrai, moins directe, en notant l'élargissement de l'ombre portée par un corps, lorsque ce corps est pris aussi comme cathode. On semble donc ramené à l'idée déjà émise : il n'y a pas répulsion entre les rayons cathodiques, mais répulsion entre une cathode et les rayons d'une autre cathode.

» Cependant, à mon avis, on peut aller plus loin; car on aperçoit un lien entre le rayon dévié de la première cathode et la deuxième cathode; ce lien dans les expériences précédentes, estfourni par les rayons obliques de la deuxième cathode qui, dans la partie en deçà de l'écran, rencontrent le rayon de la première cathode. Cette rencontre, cette pénétration des rayons des deux cathodes sont peut-être une condition nécessaire.

» Pour vérifier ce point important, j'ai entouré la deuxième cathode d'un long cylindre de mica, ouvert seulement à ses extrémités, de manière à arrêter tous les rayons qui pouvaient rencontrer, dans la partie entre les électrodes et l'écran, les rayons de la première cathode. Or, la répulsion a été nulle, alors que, sans le mica, elle atteint 18 mm.

» Cette expérience conduit à la conclusion suivante [1] :

» *L'action mutuelle des rayons et des cathodes se produit seulement lorsque les rayons se pénètrent.*

» Ce résultat, que je me propose de vérifier dans les cas les plus variés, et les résultats précédents peuvent jeter un jour nouveau sur la nature des rayons cathodiques [2]. »

(1) J'ai employé en réalité trois tubes différents : le premier a été fourni par la maison Séguy, les deux autres par la maison Chabaud.

(2) Cette propriété permet d'expliquer pourquoi l'ombre portée par un corps très voisin d'une cathode est peu nette.

(1) Cette expérience montre aussi que l'influence de l'action électrostatique est négligeable.

(2) Ces recherches ont été faites dans le laboratoire de spectroscopie de l'observatoire de Paris, avec l'aide de mes deux assistants, Millochau et Mittau.

De l'action de l'ozoniseur sur les gaz soumis à l'action des rayons X ou de l'étincelle électrique, et sur les gaz de combustion ;

Par E. Villari [3].

Depuis les expériences de J.-J. Thomson, on sait que les gaz conservent un certain temps après avoir subi l'action des rayons X la propriété de décharger les corps électrisés. On est donc obligé d'admettre qu'il y a là une action de nature chimique, que l'on explique par l'hypothèse de l'ionisation.

M. Villari a cherché à vérifier cette hypothèse, en se basant sur les propriétés de l'effluve électrique. On sait que quand l'oxygène est soumis à cette effluve dans des appa-

(3) *Atti della reale Academie dei Lincei*, vol. VI, 3 et 17 janvier, et 7 février.

reils convenables, sa molécule subit une condensation. M. Villari a eu l'heureuse idée de chercher si l'effluve électrique n'avait pas la propriété de reconstituer la molécule brisée par les rayons X, et de leur enlever ainsi la propriété de décharger les corps électrisés. Pour réaliser l'expérience, il place son tube à vide et sa bobine dans la caisse opaque dont il se sert habituellement, et qui est munie d'une fenêtre fermée par une lame mince d'aluminium. A la fenêtre il accole un tube large muni d'un orifice d'arrivée du Dans ce tube le gaz est exposé aux rayons X, puis il passe dans un ozoniseur et arrive ensuite sur un électroscope convenablement protégé. On s'assure d'abord que le fonctionnement de l'ozoniseur ne produit pas de décharge sensible de l'électroscope, puis que le fonctionnement du tube de Crookes seul est aussi sans action. On fait alors, au moyen d'une soufflerie, arriver un courant d'air. Celui-ci s'échappe par les joints de l'électroscope. Si on fait fonctionner l'ozoniseur seul, rien ne se produit. Si on fait fonctionner le tube de Crookes seul, la décharge se produit rapidement. Si on fait fonctionner ensemble le tube et l'ozoniseur, on voit de nouveau la décharge devenir nulle ou à peu près.

Ces expériences ont été faites avec l'air, l'oxygène et le gaz d'éclairage et les résultats ont été toujours les mêmes. Il semble donc que l'effluve électrique a bien une propriété spécifique consistant à condenser les molécules, soit qu'elles se prêtent naturellement, comme l'oxygène, à cette opération, soit qu'une action préalable leur ait fait subir une première scission.

Inversement, M. Villari a cherché si le passage préalable dans un ozoniseur n'enlevait pas aux gaz la propriété d'être rendus, par les rayons X, aptes à décharger les corps électrisés. Les résultats de l'expérience peuvent se prévoir d'avance. L'oxygène qui est susceptible de subir une condensation par l'effluve arrivera sous les rayons X dans un état qui gênera l'action de ceux-ci ; il y aura donc une action de décharge moindre de la part de l'oxygène qui aura été préalablement ozonisé par l'effluve, que de la part de l'oxygène normal. Au contraire, les gaz, comme le gaz d'éclairage, sur lesquels l'effluve est sans effet, agissent de la même manière dans les deux cas. C'est ce que l'expérience a vérifié.

Nous arrivons donc à concevoir que l'action ionisante des rayons X est absolument générale, au lieu que l'action condensante de l'effluve ne s'exerce que dans le cas d'une ionisation préalable. Mais, si on présente à l'effluve des corps préalablement ionisés par les rayons X, l'effluve les condense de nouveau, quels qu'ils soient, montrant ainsi qu'elle est douée d'une propriété générale, dont la rare manifestation n'est due qu'à la rareté des états chimiques où elle peut se manifester.

C'est donc là une importante découverte qu'a faite M. Villari. Il a vu aussi deux autres points intéressants.

D'abord l'ozoniseur conserve, longtemps après la fin de son excitation, la propriété de désioniser les gaz. M. Villari attribue cela naturellement à la charge résiduelle du verre, et il vérifie immédiatement son dire en remplaçant son ozoniseur par un simple tube de verre préalablement électrisé. Dans ces conditions les effets obtenus sont les mêmes, ce qui vérifie l'hypothèse.

De plus, le réchauffement de l'ozoniseur diminue le temps pendant lequel se produit son action résiduelle.

Il était naturel, ayant vérifié cette propriété de l'ozoniseur, de chercher par son moyen si le mécanisme de la décharge par certains gaz des corps électrisés n'était pas toujours la même. Cette propriété de décharger les corps électrisés a été reconnue de longue date aux gaz soumis à l'action de l'étincelle électrique et aux gaz produits par la combustion. M. Villari, reprenant des dispositifs à peu près identiques à ceux que nous venons de décrire a étudié l'action de l'ozoniseur sur ces gaz. Il a vérifié que dans ces deux cas l'action était la même que pour les gaz soumis aux

rayons X. Il a varié ses expériences de toutes les façons possibles, et n'a eu que des résultats concordants. Il semble donc bien démontré par cette série de travaux que les gaz acquièrent la propriété de décharger les corps électrisés parce qu'ils subissent une transformation analogue à celle que l'ozone subit pour devenir de l'oxygène, c'est-à-dire une scission de la molécule. A. B.

Sur l'équilibre électrique entre l'uranium et un métal isolé placé dans son voisinage (1) ;

Par Lord Kelvin.

« Le fait remarquable qu'un métal électrisé, amené au voisinage d'une masse d'uranium, perd sa charge a été découvert par M. Becquerel. M. Moissan a eu l'obligeance de mettre à notre disposition un disque de ce métal de 5 cm de diamètre environ et d'un demi-centimètre d'épaisseur.

» Nous avons fait quelques expériences préliminaires sur la propriété qu'il possède de décharger les corps électrisés. Nous avons observé d'abord la vitesse de décharge pour un corps porté à différents potentiels. Nous avons trouvé que la perte de charge en une demi-minute était loin de croître proportionnellement au voltage, entre 5 et 2 100 volts, le corps électrisé étant à une distance de 2 cm environ du disque d'uranium (2).

» Ces premières expériences avaient été exécutées sans écran séparant l'uranium du corps électrisé. Nous avons trouvé par la suite que l'effet subsistait, quoique très affaibli, quand on enveloppait l'uranium dans du papier d'étain. L'effet est encore observable quand on interpose une lame d'aluminium entre le corps électrisé et l'uranium enveloppé du papier d'étain.

» Pour faire des expériences sur l'équilibre électrique entre l'uranium et un métal placé dans son voisinage, nous avons relié un disque de métal horizontal isolé au couple des quadrants isolés d'un électromètre. Nous avons placé l'uranium en face de ce disque et relié l'autre couple de quadrants à l'enveloppe de l'électromètre. La surface de l'uranium était parallèle à celle du disque de métal isolé et distante de 1 cm environ. Elle était disposée de façon à ce qu'on pût facilement l'enlever.

» Avec un disque d'aluminium poli isolé et un morceau d'aluminium de même forme placé vis à vis, au lieu de l'uranium, on constate que l'aiguille ne quitte pas le zéro quand on sépare les couples de quadrants. En plaçant l'uranium en face de l'aluminium poli isolé, on observe une déviation de 84 divisions en une demi-minute environ. L'électromètre reste alors fixe en ce point que nous pouvons appeler le zéro des rayons de l'uranium pour les deux métaux séparés par de l'air que traversent ces rayons. Si, au lieu de placer l'uranium en face de l'aluminium, en ne les séparant que par de l'air, on enveloppe l'uranium dans un morceau d'aluminium détaché de la même feuille, aucune déviation ne se produit. Le zéro primitif, ou métallique, coïncide alors avec le zéro des rayons.

» Si le métal isolé est du cuivre poli et si l'uranium n'est séparé du cuivre que par l'air, la déviation atteint environ + 10 divisions. Avec l'uranium enveloppé dans une même feuille d'aluminium et placé vis à vis du disque de cuivre isolé, la déviation est de + 43 divisions en deux minutes, au bout desquelles l'état stationnaire n'est pas encore atteint.

» Avec le cuivre oxydé en face de l'uranium nu, la déviation atteint environ + 25 divisions.

» Si l'uranium, au lieu d'être à 1 cm de distance du métal, est rapproché jusqu'à 2 ou 3 mm, la déviation reste la même.

» Ces expériences montrent que, deux surfaces métalliques polies étant reliées à l'enveloppe et aux quadrants isolés d'un

---

(1) *Société Royale d'Edimbourg*, 1er mars.

(2) Les mêmes résultats, que M. Becquerel a obtenus par une autre méthode, ont été communiqués à l'Académie des Sciences le 1er mars. Voir *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 514, 13 mars 1897.

électromètre, quand l'air qui les sépare est traversé par les rayons de l'uranium, la déviation produite a le même signe et à peu près la même grandeur que si les deux métaux étaient reliés par une goutte d'eau. »

C. R.

Principes de l'Électrodynamique;

Par E. Wiechert [1].

1. *Phénomènes dans l'éther indéfini.* — Actuellement on représente, à l'exemple de Maxwell, les phénomènes électrodynamiques qui se passent dans l'éther indéfini au moyen de deux vecteurs : le champ magnétique H (L, M, N) et le champ électrique R (X, Y, Z). Les composantes de ces vecteurs sont liées par six équations différentielles qui sont, sous la forme que leur a donnée Hertz :

$$\left.\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= \pm V\left(\frac{\partial N}{\partial y} - \frac{\partial M}{\partial z}\right) \\ \frac{dY}{dt} &= \pm V\left(\frac{\partial L}{\partial z} - \frac{\partial N}{\partial x}\right) \\ \frac{dZ}{dt} &= \pm V\left(\frac{\partial M}{\partial y} - \frac{\partial L}{\partial z}\right) \end{aligned}\right\} \quad (1\,a)$$

$$\left.\begin{aligned} \frac{dL}{dt} &= \mp V\left(\frac{\partial Z}{\partial y} - \frac{\partial Y}{\partial z}\right) \\ \frac{dM}{dt} &= \mp V\left(\frac{\partial X}{\partial z} - \frac{\partial Z}{\partial x}\right) \\ \frac{dN}{dt} &= \mp V\left(\frac{\partial Y}{\partial x} - \frac{\partial X}{\partial y}\right) \end{aligned}\right\} \quad (1\,b)$$

Il faut prendre dans le second membre le signe supérieur ou le signe inférieur suivant qu'on adopte le système d'axes droit ou le système gauche ; V représente la vitesse de propagation de la lumière.

Les axes de coordonnées sont évidemment une circonstance accessoire et leur choix n'a qu'une valeur subjective. Si donc les équations ci-dessus ont une signification réelle, une valeur objective, elles doivent être susceptibles de recevoir une forme indépendante du choix des coordonnées. C'est cette forme que M. Wiechert s'est proposé de rechercher.

Soit K un vecteur quelconque, si on pose :

$$K'_n = \frac{dK_n}{dt}, \quad (2)$$

en appelant K_n la composante du vecteur K suivant la direction n, K'_n représentera la composante suivant la direction variable n d'un nouveau vecteur K'. Il est facile de voir en effet que K et K' vérifient simultanément l'équation :

$$F_n = F_x \cos(n, x) + F_y \cos(ny) + F_n \cos(nz). \quad (3)$$

Le vecteur K' sera le *gradient* du vecteur K et nous pourrons dire que dans le premier membre des équations (1) figurent les composantes du gradient de R et dans le premier membre des équations (2) les composantes du gradient de H.

Pour transformer le second membre, le plus simple est de se reporter au théorème de Stokes, qui, appliqué à un vecteur, s'exprime par la relation :

$$\int_s K \cos(ds, K)\, ds = \int_\Omega Q \cos(n, Q)\, d\omega.$$

La première intégrale est étendue à tous les éléments ds du contour S ; la seconde à l'aire Ω limitée par le contour; n est l'une des directions de la normale à l'élément d'aire $d\omega$. Le vecteur Q est défini par ses composantes, en fonction des composantes du secteur K au moyen des équations :

$$Q_x = \frac{\partial K_z}{\partial y} - \frac{\partial K_y}{\partial z}, \qquad Q_y = \frac{\partial K_x}{\partial z} - \frac{\partial K_z}{\partial x}, \quad (4)$$
$$Q_z = \frac{\partial K_y}{\partial x} - \frac{\partial K_x}{\partial y}.$$

Il est important de remarquer que le contour doit être parcouru dans le sens où on doit faire tourner pour la faire progresser dans la direction de la normale qu'on a choisie, une vis droite si le système de coordonnées est droit, ou une vis gauche si le système est gauche.

En appliquant le théorème de Stokes à un contour infiniment petit, on démontre que la

---

[1] *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 283-324.

définition de Q est indépendante du choix des axes; mais à un vecteur K correspondent deux vecteurs Q égaux en intensité, mais de sens contraire. Q s'appellera le vecteur tourbillon ou simplement tourbillon de K et suivant les positions relatives de la normale à la surface et du sens dans lequel on décrit le contour, ce tourbillon sera dit droit ou gauche. Il est droit si on décrit le contour en tournant autour de la normale dans le sens où il faut tourner une vis à droite pour la faire progresser dans la direction positive de la normale; il est gauche dans le cas où ce sens est celui d'une vis à gauche.

Au moyen de ces définitions, nous pourrons remplacer chacun des systèmes partiels (1_a) et (1_b) par une seule équation :

$$\mathbf{grad}\,(R) = V\,\text{tourb. dr}\,(H)$$
$$\mathbf{grad}\,(H) = V\,\text{tourb.}\,\mathbf{g}\,(R).$$

On a souvent mis en doute que les deux modes d'ébranlement de l'éther présentent les propriétés des vecteurs. A chacun d'eux appartient en effet une intensité et une direction dans l'espace. Cependant quand ces deux éléments sont donnés, il reste le choix entre deux phénomènes de sens opposé qui s'échangent entre eux quand on suppose que les axes ont tourné de 180°. Cette circonstance peut se produire de deux manières.

1° L'ébranlement considéré possède le caractère vectoriel proprement dit : en d'autres termes les deux sens de translation le long de l'axe sont différents; nous avons un vecteur proprement dit;

2° L'axe est tel que les deux sens de rotation autour de cet axe soient différents; nous l'appellerons rotateur. Le segment par lequel on représente en dynamique le moment d'un couple est un exemple de rotateur.

Les propriétés des rotateurs sont comparables à celles des vecteurs. Ils peuvent se décomposer ou se composer comme les vecteurs; mais à chacune de leurs composantes est attachée non seulement une direction comme dans le cas des vecteurs, mais aussi un sens de rotation : c'est ce que nous appellerons une direction de tourbillon. Il faut donc dans cette décomposition attribuer aux axes de coordonnées une direction de tourbillon déterminée. Lorsqu'on change à la fois les directions des trois axes, les composantes d'un vecteur changent de signe; celles d'un rotateur conservent le même signe.

Si on opère un mirage dans un plan perpendiculaire à l'axe, le secteur change de sens, mais non le rotateur; si le plan de mirage passe par l'axe, c'est l'inverse qui arrive.

Le gradient a la même signification pour le rotateur que pour le vecteur et il est défini par la même équation (2), à la condition de considérer n comme une direction de tourbillon.

On peut calculer dans le champ d'un rotateur les intégrales de contour et de surface comme dans le champ d'un vecteur.

Les équations (4) et (5) définissent pour le champ d'un rotateur, deux *rotateurs tourbillons*, l'un droit, l'autre gauche. Dans l'équation (4) on obtient l'un ou l'autre suivant le genre d'axes adopté; cela dépend du sens dans lequel on effectue l'intégration le long du contour.

Le théorème de Stokes appliqué aux rotateurs s'énonce comme il suit :

Si la courbe Λ entoure complètement l'aire Σ, l'intégrale du rotateur prise le long du contour Λ est égale numériquement à l'intégrale de son rotateur tourbillon étendue à l'aire Σ, au signe près. Le résultat mathématique est particulièrement simple, quand on prend pour Q un rotateur, car dans ce cas K est un secteur et réciproquement. Le tourbillon d'un rotateur est un vecteur et le tourbillon d'un vecteur est un rotateur.

Si nous revenons au problème électromagnétique, nous trouvons quatre cas possibles, qui figurent dans le tableau ci-dessous :

	ÉBRANLEMENT			
	Électrique.	Magnétique.	R.	H.
1.	Polaire.	Polaire.	Vecteur.	Vecteur.
2.	Polaire.	Rotationnel.	Vecteur.	Rotateur.
3.	Rotationnel.	Polaire.	Rotateur.	Vecteur.
4.	Rotationnel.	Rotationnel.	Rotateur.	Rotateur.

Le premier cas a été étudié déjà. Dans les autres cas, il importe de déterminer lequel des deux sens de tourbillons il faut choisir.

Si dans le quatrième cas on traite les deux phénomènes de la même manière, les équations (1) ne changent pas de forme, les équations (6) deviennent :

$$\text{grad}(R) = V \text{ rot tourb dr } (H)$$
$$\text{grad}(H) = V \text{ rot tourb } g (R).$$

Dans le deuxième et le troisième cas ces mêmes équations deviennent :

$$\text{grad}(R) = \pm V \text{ tourb}(H)$$
$$\text{grad}(H) = \mp V \text{ tourb}(R).$$

Il faut remarquer que les signes dépendent de la définition du rotateur et non de la nature du système des axes coordonnés. Il en résulte que les calculs relatifs à ces deuxième et troisième cas sont beaucoup plus simples que les calculs relatifs aux deux autres cas. Par conséquent, il serait avantageux de choisir l'un de ces systèmes d'équations, si toutefois il correspond à la réalité, ce qui paraît être en effet.

Pour déterminer le caractère de l'ébranlement électrique, nous pouvons supposer que cet ébranlement est provoqué par le déplacement d'une petite sphère électrisée le long de l'axe d'ébranlement, dans une direction bien déterminée. Tout est symétrique par rapport à un plan perpendiculaire à l'axe ; il est donc vraisemblable que l'ébranlement électrique présente le caractère de polarité, puisque les deux directions de translation le long de cet axe ne peuvent se distinguer l'une de l'autre.

En ce qui concerne l'ébranlement magnétique, considérons l'action exercée sur un pôle magnétique; un tel pôle supposé réduit à un point est entraîné le long de l'axe d'ébranlement dans une direction déterminée; on ne peut en conclure que le phénomène magnétique présente le caractère de polarité, car un pôle ne forme qu'une partie d'un aimant : dans son ensemble un aimant placé dans un champ magnétique homogène n'est soumis à d'autres forces que des forces se réduisant à un couple, et ne tend à prendre aucun mouvement de translation. A la vérité ceci caractérise plutôt la polarité. Les courants électriques se comportent dans un champ magnétique comme les aimants et conduisent à la même conclusion. L'éther en état d'ébranlement magnétique exerce sur un courant électrique linéaire des forces mécaniques, perpendiculairement à l'élément de courant et à l'axe d'ébranlement. Si nous attribuons au courant électrique la symétrie polaire, ce qui est extrêmement vraisemblable en ayant égard aux phénomènes d'électrolyse et à la possibilité d'imiter les courants par la convection de charges électrostatiques, il faut attribuer à l'ébranlement magnétique la symétrie tournante, sinon le plan amené par l'élément de courant et l'axe d'ébranlement magnétique serait un plan de symétrie pour le courant, et il ne pourrait exister de force mécanique dirigée latéralement [1].

En définitive, nous devons adopter le système [2] dans lequel R est un vecteur et H un rotateur. Nous choisirons pour le sens du tourbillon de H le sens qui forme avec la direction de vecteur que nous avons prise jusqu'ici un système gauche. Par exemple, si une petite aiguille aimantée se trouve en équilibre dans le champ terrestre, la direction du pôle Sud vers le pôle Nord forme, avec la direction de tourbillon que nous avons choisie pour H, un système gauche.

L'ensemble des phénomènes magnétiques et électriques peut donc être représenté par le système d'équations :

$$\text{grad}(R) = -V \text{ tourb}(H) \qquad (5a)$$
$$\text{grad}(H) = V \text{ tourb}(R). \qquad (5b)$$

La première est l'équation d'un vecteur, la seconde celle d'un rotateur. Pour ne pas commettre de confusion, on peut donner à H le nom de *rotateur magnétique*. Cette grandeur jouera en effet le rôle de l'induction magnétique et non celui de la force magné-

---

[1] Cf Curie, *Journal de physique*, [3], III, p. 393.

[2] Kolacek, *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 475, 7 décembre 1895.

tique; pour cette raison, il est préférable de ne pas conserver cette dernière dénomination.

L'introduction dans la théorie du rotateur magnétique donne une nouvelle forme à la question de l'orientation de la vibration lumineuse. Dans la théorie électromagnétique de la lumière, l'axe de la vibration électrique est perpendiculaire et celui de la vibration magnétique parallèle au plan de polarisation. Jusqu'à présent on attribuait à ces vibrations le caractère de polarité; par conséquent la vibration de Fresnel était perpendiculaire au plan de polarisation et la vibration de Neumann, parallèle à ce plan. Mais cette dernière conséquence n'est plus justifiée, dès qu'on attribue à la vibration magnétique la symétrie tournante, car si l'axe d'un rotateur demeure fixe pendant que sa direction oscille de part et d'autre, on ne peut dire que le rotateur oscille le long de l'axe, mais seulement qu'il oscille autour de cet axe, dans un plan perpendiculaire à l'axe, comme le balancier d'une montre. Dans ce cas il faut parler de plan de vibration, non pas de direction de vibration. Il n'y aurait donc qu'un seul et même plan de vibration pour les deux ébranlements électriques et magnétiques et ce plan serait perpendiculaire au plan de polarisation.

2. *Ébranlement électromagnétique de l'éther au voisinage de la matière.* — En appliquant le théorème de Stokes, on trouve au moyen des équations fondamentales, que pour toute aire S limitée par le contour C et située dans l'éther libre :

$$\frac{d}{dt}\int_s (R) = -V\int_c (H) \qquad (6_a)$$

$$\frac{d}{dt}\int_s (H) = V\int_c (R). \qquad (6_b)$$

Par suite, pour toute aire fermée entièrement située dans l'éther libre,

$$\frac{d}{dt}\int_s (R) = 0 \quad \text{ou} \quad \int_s R = \text{const.} \qquad (7_a)$$

$$\frac{d}{dt}\int_s (H) = 0 \quad \text{ou} \quad \int_s (H) = \text{const.} \qquad (7_b)$$

Or on admet que l'ébranlement magnétique doit être absolument nul dans toute région de l'éther libre telle qu'on puisse éloigner la matière de son voisinage immédiat sans traverser la région. Par conséquent, pour toute surface fermée, ne contenant que de l'éther libre :

$$\int_s (R) = 0 \qquad (8_a)$$

$$\int_s (H) = 0. \qquad (8_b)$$

On peut partager l'espace par des surfaces telles que l'intégrale d'un vecteur ou d'un rotateur dans l'espace tout entier soit la somme des intégrales partielles étendues aux aires de ces surfaces auxiliaires. Il résulte donc des équations (8), que les intégrales étendues à deux surfaces qui sont séparées seulement par l'éther libre et entièrement situées dans cet éther, sont égales tant pour le vecteur électrique R que pour le rotateur magnétique H.

Mais si la surface fermée contient aussi de la matière, nous savons par l'expérience que $\int_s$ (R) peut-être différent de o, mais sa valeur est la même pour toutes les surfaces qui renferment la même matière et elle est indépendante du temps, d'après l'équation (7). Nous poserons donc :

$$\int_s (R) = 4\pi\varepsilon, \qquad (9_a)$$

et ε sera la quantité d'électricité dans la matière que renferme la surface d'intégration.

L'expérience nous apprend aussi que dans le cas des phénomènes magnétiques on a toujours, pour une surface fermée :

$$\int_s (H) = 0. \qquad (9_b)$$

Nous pouvons donner un exemple de l'application des formules (6) et (14) à la théorie des phénomènes électrodynamiques dans l'intérieur des corps matériels.

Soit Σ une surface située dans l'éther libre, et limitée complètement par un contour C

Un corps électrisé qui possède une charge ε peut, pendant l'intervalle de temps de t_1 à t_2 traverser une fois Σ sans toucher C. Soit r un des deux sens suivant lesquels on peut traverser Σ et w le sens correspondant du tourbillon le long de C (ces lettres désignent simplement des sens de déplacement, sans idée de direction proprement dite).

En général on pourra trouver une seconde surface limitée au même contour C et qui pendant le trajet du corps reste dans l'éther libre : admettons provisoirement ce fait comme démontré. Il y a une infinité de telles surfaces ; dont les unes enferment à la fois la surface Σ et le corps avant qu'elles aient touché une première fois Σ et dont les autres réalisent cette condition après le dernier contact. Considérons une surface Σ' du premier groupe ; soit r' le sens à travers Σ' qui correspond à w et Ω l'espace limité par Σ et Σ'. Si le corps traverse Σ dans la sens r, r est dirigé de l'intérieur de Ω vers l'extérieur et r' de l'extérieur vers l'intérieur ; si le corps se déplace dans la direction opposée, c'est l'inverse.

D'après l'hypothèse que nous avons faite sur Σ', il doit être possible de trouver entre t_1 et t_2 deux époques t'_1 et t'_2, entre lesquelles le corps passe à travers Σ pendant que dans l'intervalle limité à ces deux époques la surface Σ' se trouve dans l'éther libre. En appliquant à la surface Σ' et à l'intervalle t'_1 t'_2 l'équation (6_a) et prenant w et r comme sens d'intégration, nous trouverons :

$$V\int_{t'_1}^{t'_2} dt \int_C (H) = -\left[\int_{\Sigma}(R)\right]_{t'_1}^{t'_2}.$$

Puisque pendant les intervalles de t_1 à t'_1 et de t_2 à t'_2, la surface Σ se trouve dans l'éther libre nous avons aussi :

$$V\int_{t_1}^{t'_1} dt \int_C (H) = -\left[\int_{\Sigma}(R)\right]_{t_1}^{t'_1}$$

$$V\int_{t'_2}^{t_2} dt \int_C (H) = -\left[\int_{\Sigma}(R)\right]_{t'_2}^{t_2}.$$

En additionnant membre à membre ces trois relations il vient :

$$V\int_{t_1}^{t_2} dt \int_C (H) = -\left[\int_{\Sigma}(R)\right]_{t_1}^{t_2} - \left[\int_{\Sigma}(R) - \int_{\Sigma'}(R)\right]_{t'_2}^{t'_1}.$$

Le deuxième terme du second membre représente l'intégrale étendue à l'aire qui limite le volume Ω, par rapport à la normale extérieure ou à la normale intérieure suivant que le corps électrisé passe à travers Σ dans le sens r ou en sens contraire. A l'époque t'_1 le corps se trouve à l'intérieur du volume Ω et par suite l'intégrale a la valeur $4\pi\varepsilon$; au temps t'_2, le volume Ω ne renferme plus de matière et l'intégrale est nulle. En résumé :

$$V\int_{t_1}^{t_2} dt \int_C (H) = -\left[\int_{\Sigma}(R)\right]_{t_1}^{t_2} \mp 4\pi\varepsilon. \qquad (10)$$

Lorsqu'il n'existe pas de surface Σ, la même équation s'applique, mais la démonstration est un peu plus compliquée. Seulement elle permet d'étendre immédiatement le résultat au cas où des corps électrisés se meuvent en nombre quelconque au voisinage du contour C, entrent dans Σ ou le traversent un nombre quelconque de fois. Si t_1 et t_2 sont deux époques auxquelles la surface Σ se trouve dans l'éther libre et entre lesquelles le contour C n'est jamais touché par la matière, on doit prendre alors l'équation générale :

$$V\int_{t_1}^{t_2} dt \int_C (H) = -\left[\int_{\Sigma}(R)\right]_{t_1}^{t_2} - 4\pi(\Sigma \pm \varepsilon), \qquad (11_a)$$

$\Sigma \pm \varepsilon$ représente la quantité d'électricité qui pendant l'intervalle de temps de t_1 à t_2 a passé à travers Σ dans le sens d'intégration c'est-à-dire la somme algébrique des quantités qui ont réellement traversé la surface prises avec le signe + ou avec le signe —, suivant qu'elles l'ont traversée dans le sens d'intégration ou dans le sens opposé.

Les mêmes raisonnements que nous venons de faire sur les équations (*a*) s'appliquent évidemment aux équations (*b*); donc nous pouvons écrire :

$$V\int_{t_1}^{t_2} dt \int_C (R) = -\left[\int_\Sigma (H)\right]_{t_1}^{t_2}. \qquad (11_b)$$

3. *Ébranlement électromagnétique à travers la matière.* — Le plus simple, pour étendre aux espaces occupés par la matière les résultats que nous venons d'établir pour l'éther indéfini, c'est d'admettre que les formules (9) et (11) restent vraies quand on introduit la matière dans l'espace considéré.

Il sera utile, pour ce qui suit, d'introduire l'ébranlement moyen défini par les équations :

$$R_{t_1}^{t_2} = \frac{1}{t_2 - t_1}\int (R)\,dt, \qquad H_{t_1}^{t_2} = \frac{1}{t_2 - t_1}\int (H)\,dt.$$

Considérons d'abord un *état permanent*, c'est-à-dire dans lequel l'ébranlement moyen reste constant. En divisant les deux membres de l'équation (11_b) par $t_1 - t_2$, on trouve

$$\int_C (R) = 0, \qquad (12_a)$$

pour tout contour fermé C. Autrement dit dans un champ à l'état stationnaire, le vecteur électrique admet un potentiel, propriété bien connue déjà. Les autres propriétés (théorème de Poisson, distribution, etc.) sont renfermées dans l'équation (9_a). L'hypothèse que nous avons faite est donc dans le cas actuel justifiée par l'expérience.

En ce qui concerne l'ébranlement magnétique, l'équation (9_b) exprime que l'ébranlement moyen satisfait en tout point à la condition solénoïdale de Maxwell ; ce qui démontre que le rotateur (H) joue le rôle de l'induction et non celui de la force magnétique.

D'après l'équation (11_a).

$$V\int_C (H) = -4\pi i, \qquad (12_b)$$

en posant :

$$i = \frac{\Sigma \pm \varepsilon}{t_2 - t_1}.$$

Le facteur i représente l'intensité du courant à travers l'aire limitée du contour C, dans le sens qui correspond au sens d'intégration adopté pour l'intégrale $\int_C (H)$. En général, i est la somme de trois courants électriques d'origine différente : 1° un courant de convection i_c, correspondant aux mouvements perceptibles de la matière ; 2° un courant ordinaire ou galvanique i_g ; 3° un courant correspondant aux mouvements moléculaires qui produisent l'aimantation de la matière. Nous écrivons donc :

$$i = i_c + i_g + i_m. \qquad (13)$$

L'intensité i_m peut s'exprimer en fonction d'un rotateur P, qui est de sens contraire au rotateur appelé intensité d'aimantation et possède une intensité V fois plus grande, de sorte qu'on écrira :

$$M = -\frac{1}{V} P.$$

et il résulte immédiatement de la définition de P que :

$$i_m = \int_C (P) = -V\int_C (M). \qquad (14)$$

Entre l'induction magnétique H, la force magnétique F et l'intensité d'aimantation M on a la relation :

$$H = F + 4\pi M, \qquad (15)$$

la somme qui figure dans le second membre doit être considérée comme une somme géométrique. Dans ce qui suit H sera désigné sous le nom de rotateur magnétique secondaire. L'équation (14) lui servira de définition, en remarquant que dans la théorie présente B et M sont aussi des rotateurs ; le vecteur force magnétique formera avec H un système gauche.

Dans l'état stationnaire, on a pour tout

contour fermé qui ne renferme ni courants de convection, ni courants galvaniques :

$$\int_c (F) = 4\pi \int_c (M),$$

d'après les équations (12^b) et (14); dans les mêmes conditions (15) donnera :

$$\int_c (F) = 0. \qquad (16)$$

Le rotateur H, c'est-à-dire la force magnétique possède alors un potentiel. La quantité de magnétisme τ sera définie par la relation

$$\int_\Sigma (F) = 4\pi\mu, \qquad (17)$$

l'intégration étant faite dans le système gauche.

Cas général. — Lorsque l'ébranlement moyen n'est pas constant, il faut remplacer les équations (11_a) et 11_b) par les suivantes :

$$\frac{d}{dt}\int_\Sigma (R) + 4\pi i = -V\int_c (H) \qquad (18_a)$$

$$\frac{d}{dt}\int_\Sigma (H) = -V\int_c (R). \qquad (18_b)$$

qui sont la généralisation de (6_a) et de (6_b). Nous y joindrons les équations (9_a) et (9_b).

Il résulte immédiatement de ce qui précède que la quantité d'électricité dans un espace quelconque ne peut varier que par suite d'un courant à travers la surface qui limite l'espace considéré : donc

$$\frac{d\epsilon}{dt} = -i,$$

i étant dirigé vers l'extérieur de la surface.

Ces formules ne conduisent pas directement à celles de Maxwell.

Soit Γ le vecteur du courant électrique, c'est-à-dire que pour une surface finie Σ,

$$i = \int_\Sigma (\Gamma),$$

pour un élément de surface $d\omega$ dont la normale est ν dans le sens de i,

$$i = \Gamma_\nu d\omega.$$

En appliquant le théorème de Stokes généralisé, on tire des équations (18_a) et (18_b) :

$$\text{grad}(R) + 4\pi\Gamma = -\text{tourb}(H)$$
$$\text{grad}(H) = \text{tourb}(R).$$

Si à l'exemple de Maxwell et de Heaviside, nous appelons divergence d'un vecteur K l'expression :

$$\text{div}(K) = \frac{\partial K_x}{\partial x} + \frac{\partial K_y}{\partial y} + \frac{\partial K_z}{\partial z},$$

et par analogie, torsion d'un rotateur K, la même expression où K représente un rotateur, la divergence sera indépendante du système d'axes; mais la torsion changera de signe avec le genre du système; il y aura lieu de distinguer une torsion droite et une torsion gauche.

Dans le champ d'un vecteur, on sait que :

$$\int_\Sigma (K) = \int_\Omega \text{div}(K)\, d\tau,$$

Ω étant le volume limité par la surface Σ et l'intégrale $\int_\epsilon$ étant prise par rapport à la normale extérieure.

Nous aurons de même dans le champ d'un rotateur K,

$$\int_\Sigma (K) = \int_\Omega \text{tors}(K)\, d\tau.$$

en choisissant convenablement les sens d'intégration.

En appelant ρ la densité cubique de l'électricité, on a :

$$\text{div}(R) = 4\pi\rho$$
$$\text{tors}(H) = 0.$$
$$\frac{d\rho}{dt} = -\text{div}(\Gamma).$$

Aux trois composantes de i déjà définies peut s'en ajouter une autre i_p, provenant d'une variation de la polarisation diélectrique. Alors :

$$i = i_c + i_g + i_m + i_p$$
$$\Gamma = \Gamma_c + \Gamma_g + \Gamma_m + \Gamma_p.$$

Conformément aux idées anciennes, nous

appellerons polarisation diélectrique le vecteur Π qui, intégré dans l'étendue d'une surface donne la quantité d'électricité ε_p qui a traversé cette surface par suite du déplacement électrique.

Par suite :

$$\varepsilon_\rho = \int_\Sigma (\pi),$$

et pour un élément de surface infiniment petit :

$$\varepsilon_\rho = \pi_\nu d\omega,$$

et

$$i_\rho = \frac{d}{dt} \int_\Sigma (\pi$$

$$\Gamma_\rho = \text{grad}\,(\pi)$$

$$i_m = -V \int_c (M)$$

$$\Gamma_m = -V\,\text{tourb}\,(M).$$

4. *Action du champ électromagnétique sur la matière.* — Sur les forces électrostatiques il n'y a rien à ajouter à ce qui est connu : (R) représente le champ électrique.

La loi qui régit l'action d'un champ magnétique sur un élément de courant, est d'accord avec l'hypothèse suivante :

La perturbation magnétique produite dans un champ électromagnétique exerce sur un petit corps qui possède une charge ε et se meut avec la vitesse ν une force mécanique qui est perpendiculaire sur ν et sur H et a pour intensité $\frac{\varepsilon \nu H \sin(\nu . H)}{V}$. Suivant que le corps est électrisé positivement ou négativement la direction de la force s'obtient en faisant tourner la composante de ν qui est perpendiculaire à H de 90° dans le sens de H ou en sens inverse.

Le sens de la force ainsi définie est exact : quant à l'intensité on peut démontrer qu'elle est aussi exactement définie : mais cette démonstration a deux points faibles. D'abord elle s'applique seulement aux courants électrolytiques, car elle suppose que les atomes matériels transportent les charges; pour la rendre valable dans le cas des conducteurs métalliques, il faut admettre que le transport d'une charge électrique d'un atome à l'autre a le même effet pour la force mécanique exercée par le champ électromagnétique que le transport de la charge liée à la matière. — En second lieu la démonstration suppose un courant linéaire qui est une fiction mathématique. On peut écarter cette dernière difficulté en s'appuyant sur un lemme aisé à établir : si on décompose la vitesse du corps électrisé en un nombre quelconque de composantes, et qu'on calcule la force mécanique pour chacune de ces composantes, la résultante de ces forces partielles est identique à la force calculée pour la vitesse totale.

Enfin l'énoncé ci-dessus définit la direction du rotateur H, c'est-à-dire la direction dans laquelle un corps électrisé abandonné à lui-même dans un champ magnétique uniforme décrit sa trajectoire.

Pour les courants de conduction, il faut poser, d'après la théorie d'Ohm,

$$\Gamma = x R,$$

x étant la *conductibilité* du milieu supposé isotrope.

La formule de Ohm fait abstraction de l'inertie des particules électriques se mouvant dans le courant : elle considère seulement les forces électrostatiques; mais dans les champs magnétiques intenses, interviennent également les forces électromagnétiques définies ci-dessus et qui se traduisent expérimentalement par les variations de résistance et le phénomène de Hall.

Nous obtiendrons les formules de Maxwell relatives aux milieux diélectriques en écrivant que le déplacement électrique π est proportionnel à R

$$\pi = pR,$$

p sera lié à la capacité inductive spécifique ou constante diélectrique D par la relation :

$$D = 1 + 4\pi p.$$

Dans le cas général, on a à la fois les cou-

rants de conduction et les courants de déplacement, alors :

$$D \operatorname{grad}(R) + 4\pi x R = -V \operatorname{tourb}(H)$$
$$\operatorname{grad}(H) = V \operatorname{tourb}(R).$$

Ces équations sont identiques aux équations de Hertz pour les milieux isotropes qui ne sont pas sensiblement magnétiques.

En ce qui concerne les phénomènes optiques, il faut étudier aussi les conditions aux limites pour le passage d'un milieu à un autre ; on trouve que la composante de (R) normale à la surface de séparation est discontinue ; au contraire la composante parallèle à la surface est continue, de même que toutes les composantes de (H) lorsque le milieu n'est pas sensiblement magnétique.

Dans les milieux fortement magnétiques les phénomènes s'expliquent en considérant le corps comme un système de courants constants qui s'orientent sous l'action de l'ébranlement magnétique produit dans le champ. Ce cas extrême n'est pas réalisé : l'autre extrême serait d'avoir des particules électriques se mouvant librement dans l'espace sans réagir les unes sur les autres. Dans la réalité, on se trouve entre ces deux cas limites.

5. *Induction électromagnétique.* — La présente théorie doit distinguer deux sortes de phénomènes d'induction : 1° l'induction provoquée par la variation de la perturbation magnétique dans le champ et 2° l'induction provoquée par le déplacement du corps dans le champ.

1° Dans un champ variable, l'intégrale du vecteur (R) étendue à un contour fermé n'est plus nulle : nous devons écrire :

$$\frac{d}{dt}\int_\Sigma (H) = V \int_C (R).$$

D'après les dénominations usuelles, la première intégrale représente le nombre N des lignes de tourbillon coupées par la surface Σ et la seconde la force électromotrice d'induction e développée le long du contour C d'où :

$$e = \frac{1}{V} \frac{dN}{dt}.$$

2° Lorsqu'un corps se déplace dans le champ et qu'une particule possédant la charge ε se déplace avec une vitesse v, elle est soumise d'après ce que nous avons vu à une force : $\frac{1}{V} \varepsilon v$ H sin (v, H), perpendiculaire à V et à H. Cette force peut donc être représentée par un vecteur R

$$R' = \frac{v}{V} H \sin(v, H),$$

dont la direction s'obtient en faisant tourner de 90° dans le sens de H la composante de v perpendiculaire à H. Abstraction faite du signe, la force à laquelle est soumise la charge ε est $\varepsilon R'$. L'intégrale $\int_c (R')$ sera la force électromotrice d'induction engendrée par le mouvement le long du contour C.

Si C est une courbe quelconque ouverte ou fermée qui participe au mouvement du corps et ds un élément de cette courbe, la force électromotrice de produite dans cet élément est égale à :

$$de = \frac{1}{V} R' ds \cos(ds, R') = \frac{v}{V} H\, ds \sin(v, H) \cos(ds, R')$$

La deuxième expression, comme il est aisé de le vérifier, représente la vitesse avec laquelle varie le nombre des lignes de tourbillon (ou de force) magnétique coupées par la surface Σ que limite le contour C, divisée par V, soit $\left(\frac{dN}{dt}\right)_{ds}$.

En intégrant de pour tous les éléments du contour, on obtient la force électromotrice d'induction totale engendrée dans ce contour. D'autre part en intégrant $\left(\frac{dN}{dt}\right)_{ds}$, on aura la variation totale du nombre des lignes de tourbillon coupées par la surface. La formule

$$e = \frac{1}{V} \frac{dN}{dt},$$

est donc encore applicable dans le cas actuel.

En ce qui concerne les signes, on doit rapporter e le long du contour et N sur la surface aux directions qui se correspondent géométriquement.

Lorsqu'un corps se déplace dans un champ variable, il faut ajouter les forces électromotrices partielles provenant de chacune des causes que nous venons de considérer ; on arrive encore à la formule

$$e = \frac{1}{V} \frac{dN}{dt},$$

où maintenant e désigne la force électromotrice totale d'induction le long d'une courbe fermée située dans le corps qui se déplace et N le nombre total de lignes de tourbillon embrassées par cette courbe.

La théorie conduit donc aux faits expérimentaux observés dans l'induction électromagnétique.

6. *Conclusions.* — La notion de rotateur permet de donner une théorie de l'induction serrant de plus près les faits. La théorie devient plus simple quand, au lieu de s'en tenir aux formules de Maxwell, on tient compte de la structure moléculaire de la matière. Les atomes électrisés, dont les phénomènes d'électrolyse nous révèlent l'existence, apparaissent dans ce cas comme les points de départ ou d'arrivée de la perturbation électromagnétique.

De l'ensemble de la théorie il résulte que la matière est en opposition avec le champ électromagnétique. C'est en effet la réalité, si on admet implicitement, comme nous l'avons fait, que le champ est toujours fixe et que les perturbations électrodynamiques proviennent seulement du mouvement des particules matérielles dans le champ, que ces particules soient libres ou bien dans l'intérieur d'un corps. Mais cette théorie ne peut rendre compte que par une voie indirecte de l'influence qu'exerce la matière sur la propagation des perturbations électromagnétiques ; il faut admettre que cette influence provient de modifications produites dans la structure de la matière par les perturbations et qui réagissent sur ces dernières.

Du reste l'existence de l'aberration, les phénomènes d'entraînement observés par Fizeau, Michelson et Morley, prouvent que le champ électromagnétique est indépendant des mouvements de la matière.

Les propriétés des rayons de Rœntgen sont aussi en accord avec les conséquences de la théorie, si nous admettons que ces rayons sont dus à des vibrations trop rapides pour qu'elles n'aient pas le temps de modifier la structure de la matière : celle-ci ne réagit plus alors sur la propagation comme dans le cas de la lumière.

Pour se faire une idée des phénomènes, puisque la matière n'influe pas sur le champ électromagnétique, il faut imaginer un autre véhicule des perturbations électromagnétiques : ce sera l'éther auquel nous devrons attribuer vis-à-vis de la matière, les propriétés que Fresnel a dû lui donner pour expliquer l'aberration.

Enfin nous avons considéré seulement les actions mutuelles de la matière et du champ magnétique qui s'exercent par l'intermédiaire des charges électriques, il y aurait lieu de généraliser et on devrait alors supposer que les autres changements d'état sont équivalents au point de vue électrodynamique avec le mouvement des particules électrisées.

M. L.

Indice de réfraction pour les ondes électriques de l'eau et des solutions aqueuses ;

Par L. DRUDE [1].

Dans un travail précédent [2] M. Drude a démontré que l'eau ne possède pas de pouvoir dispersif pour les ondes électriques tandis que les solutions aqueuses électrolytiques présentent une dispersion normale. Ces solutions se comportent vis-à-vis des vibrations très rapides comme on peut le calculer *a*

---

[1] *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 17-68.

[2] *Éclairage Électrique*, t. IX, p. 559, 19 décembre 1896.

priori d'après leurs propriétés vis-à-vis des vibrations lentes. Les expériences dont il est question ici se rapportent à la variation de l'indice de réfraction électrique de l'eau avec la température et à l'étude des solutions de sucre.

La méthode expérimentale est toujours la même : elle a pour principe la détermination de la longueur d'onde dans l'air et dans la dissolution, par la méthode du pont. La longueur d'onde dans l'air était le plus souvent de 74 cm : quelques expériences ont été faites avec des longueurs d'onde de 2 m et 38 cm. On a fait varier aussi les diverses conditions des expériences : telles que le diamètre des fils conducteurs, leur distance et les dimensions de la cuve à liquide. Cinq cuves différentes ont été employées :

1. Grande cuve en terre : longueur : 48 cm ; largeur : 21 cm ; hautenr : 1,1 cm ; épaisseur des parois : cette cuve est émaillée à l'intérieur et remplie d'eau jusqu'à hauteur du bord. Les fils passent à 12 cm du bord.

2. Petite cuve en terre : $31 \times 11 \times 11$ cm ; épaisseur : 1,1 cm ; émaillée. Les fils passent à 6 cm du bord.

3. Cuve en fer-blanc : avec des faces en ébonite de 8 mm à travers lesquelles passent les fils : $60 \times 16 \times 16$ cm ; les fils passent à 8 cm du bord.

4. Grande cuve de verre : $30 \times 5 \times 6$ cm ; épaisseur : 0,2 cm. Le fils passent à 3,5 cm du bord.

5. Petite cuve de verre : $30 \times 3 \times 3{,}5$ cm. Les fils à 2 cm du bord.

Toutes ces mesures se rapportent à l'intérieur des cuves. La surface intérieure de la paroi antérieure de la cuve, par laquelle entrent les fils, autrement dit le commencement du liquide se trouve très voisine du premier nœud de force électrique (à 1 mm), qui est, par rapport à l'excitateur, derrière le premier pont B_1. Ce nœud vrai ne coïncide pas exactement avec le pont B_2, quand ce pont est placé de manière à ce que la portion $B_1 B_2$ des fils soit à l'unisson avec les vibrations produites par l'excitateur en avant de B_1, en réalité il se trouve quand le pont B_2 a une longueur de 2 cm, à 8 mm en arrière et quand le pont a 1 cm, à 4 mm en arrière.

Dans quelques expériences, on faisait à dessein commencer le liquide ailleurs qu'au nœud vrai, pour constater la variation.

A l'extrémité du liquide, derrière le pont B_2, on ne met pas en général de troisième pont, après avoir constaté plusieurs fois que la présence de ce troisième pont n'a aucune importance.

La température du liquide est donnée par deux (ou trois) thermomètres : le réservoir de l'un se trouve à la hauteur des fils ; le réservoir de l'autre à 1 cm en dessous de la surface libre. Les observations sont réduites à 17° par la formule que Heerwagen a donnée pour le pouvoir diélectrique de l'eau :

$$\varepsilon_{17} = \varepsilon + 0{,}362\,(\theta - 17)$$

ou comme n^2 est sensiblement égal à ε :

$$n^2_{17} = n^2 + 0{,}362\,(\theta - 17).$$

Expériences sur l'eau distillée. — La conductibilité de l'eau distillée qui a servi aux expériences variait de $7.\ 10^{-10}$ à $20.\ 10^{-10}$ en prenant celle du mercure comme unité. Cette variation est notable ; mais elle n'a pas d'influence sensible sur l'indice de réfraction. Voici quelques-uns des chiffres trouvés :

Cuve.	Distance des fils en cm.	Diam. des fils en cm.	n^2_{17}
1	1,8	1	80,16
1	1	1	80,30
1	1,8	0,5	80,51
1	1	0,5	79,22
1 (Recouv. intér. de clinquant.)	1,8	1	80,42

Ces nombres se rapportent aux expériences dans lesquelles le liquide commençait au premier nœud véritable qui se trouve derrière le pont B_1. Pour réaliser cette condition, il faut naturellement connaître la distance entre la position du pont B_2 et la position réelle du nœud, c'est-à-dire la correction due à la longueur du pont ; cette correction se détermine comme il a été indiqué dans le

mémoire précédent. La présence de la paroi de porcelaine ne modifie pas de plus de 1,5 mm la position du nœud, que les deux faces soient dans l'air ou l'une dans l'air et l'autre dans l'eau.

Lorsque le commencement du liquide ne coïncide pas avec le premier nœud, mais s'en trouvait à une distance $\mp b$ ($-b$ si le nœud était en arrière, $+b$ s'il était en avant) on trouve, avec la cuve n° 1 :

a cm	d mm	b mm	n^2_{17}
1,8	1	+ 5	80,29
1,8	1	+ 6	79,91
1,8	1	— 9	80,96
1,8	1	+ 8	79,51
1,8	1	— 7	81,02

D'après les deux dernières déterminations, on voit qu'à une diminution de 15 mm sur b correspond une augmentation de 1,5 sur n^2. En prenant la moyenne des 10 résultats, ramenés chacun à ce qu'il serait pour $b = o$, on trouve 80,32.

Il pourrait se faire que l'état d'humidité des parois de la cuve produisit une perturbation. Pour décider de cette question, des expériences ont été faites avec des cuves différentes. Les mesures faites avec la grande cuve de terre bien desséchée, ou avec la petite cuve dont le vernis étant en meilleur état ne laisse pas passer l'eau, ou avec la cuve de fer-blanc donnent des valeurs n^2 un peu plus élevées que les précédentes : en moyenne 81,67 ; ces nombres doivent avoir la préférence. En résumé, les expériences isolées présentent des écarts de plus de 1 p. 100, ces écarts sont plus petits pour les observations faites avec la cuve de fer que pour toutes autres, ce qui laisse croire que l'état d'humidité des parois a toujours une influence. L'auteur admet en définitive pour n^2_{17} le nombre 81,67 qu'il estime exact à 2 p. 100 près.

Les valeurs trouvées pour la constante diélectrique de l'eau pour des oscillations beaucoup plus lentes sont :

D'après Heerwagen .	$\varepsilon_{17} =$	80,88
» Franke . . .		81,65
» Nernst . . .		80,0

Comme les expériences de Heerwagen et celles de Nernst paraissent les plus exactes, il faut admettre que le carré de l'indice de réfraction de l'eau pour les vibrations les plus rapides est un peu plus grand que le pouvoir diélectrique ; il semble en résulter que l'eau possède un faible pouvoir dispersif normal. Théoriquement la dispersion de l'eau doit être normale, puisque jusqu'à présent on n'a observé aucun pouvoir absorbant électif de l'eau, tandis que ce pouvoir absorbant affecte les ondes plus courtes (rayons infra-rouges).

Lorsqu'on diminue beaucoup les dimensions de la cuve, on trouve pour n^2 des valeurs trop petites de 5 p. 100 environ. Cependant on peut se servir de petites cuves pour les liquides qu'il est malaisé d'obtenir en quantité considérable, mais il faut opérer par comparaison avec un liquide dont l'indice est connu et voisin de l'indice du premier.

Les mesures faites avec un excitateur plus grand, c'est-à-dire avec des longueurs d'onde plus grandes sont moins précises, parce que le nombre des intervalles nodaux à mesurer dans l'eau est moindre et que les causes perturbatrices prennent plus d'importance. Les observations sont conduites d'ailleurs de la même façon ; leur moyenne est

$$n^2_{17} = 80{,}60.$$

Cette valeur est de 1 p. 100 environ plus petite que la précédente, ce qui est d'accord avec l'existence d'une faible dispersion normale.

Enfin cette manière de voir est confirmée encore par les résultats obtenus avec des ondes très courtes. Ici on décèle les nœuds simplement en plaçant le tube de Zehnder sur les fils, sans effet de résonance : on se sert aussi d'un résonateur de Righi, mais en général le tube est préférable. Les observations sont très concordantes et donnent comme moyenne :

$$n^2_{17} = 83{,}6.$$

Finalement, en adoptant les nombres de Nernst et Heerwagen, la loi de dispersion

de l'eau serait représentée par le tableau suivant :

$1/2\lambda$	∞	100	37	19
n^2	80,5	80,6	81,7	83,6

Influence de la température. — Les observations sont faites au voisinage de 17° et elles sont réduites à cette température au moyen de la formule de Heerwagen, ce qui est légitime car cette formule se déduit aussi très approximativement des présentes expériences. En outre M. Drude a effectué des expériences systématiques pour déterminer la loi suivant laquelle l'indice varie avec la température. Il s'est servi du moyen excitateur $\left(\frac{1}{2}\lambda = 37 \text{ cm}\right)$ et de la grande cuve. Des turbines hélicoïdales agitent l'eau et leur fonctionnement est assez satisfaisant pour que les indications de trois thermomètres placés à une distance verticale de 10 cm l'un de l'autre, ne diffèrent pas de plus de 1/10 de degré. Il a vérifié d'ailleurs que ce mouvement de l'eau n'avait aucune influence sur la position des nœuds et des ventres; il importe aussi de prendre garde qu'aucune bulle d'air ne se dégage de l'eau et n'adhère aux fils.

Le carré n^2 de l'indice diminue quand la température s'élève, comme le montrent les nombres suivants :

Température.	0,2	4,1	7,9	11,6	16,9	25,8	39,7
n^2.	87,33	86,02	84,49	83,41	81,20	77,99	73,44
ε (Heerwagen) . .	86,96	85,55	84,17	82,83	80,91	77,70	72,67
Différence	0,37	0,47	0,32	0,58	0,29	0,29	0,77

Température.	45,4	49,8	54,8	59,7	66,0	70,1	72,8	76,3
n^2 . .	71,28	70,01	68,60	67,17	66,02	64,83	63,68	62,82
ε. . .	70,60	69,00	67,21	65,43	63,14	61,66	60,66	59,41
Différ.	0,68	1,01	1,39	1,74	2,88	3,17	3,02	3,41

La différence $n^2 - \varepsilon$ est donc à peu près constante jusqu'à 25°,8 et confirme jusque-là le coefficient de variation de Heerwagen, qui a été déterminé seulement d'ailleurs entre 0° et 21°. Conformément aux travaux de Heerwagen et de Franke, mais en opposition avec ceux de Thwing, n^2 n'a pas de maximum correspondant au maximum de densité de l'eau.

Au-dessus de 25°,8, la différence augmente; le coefficient de variation de n^2 est donc plus petit que celui de Heerwagen. La formule la plus probable pour représenter n^2 entre les températures 0° et 76°, serait :

$$n^2 = 88,23 - 0,4044\,\theta + 0,001035\,\theta^2.$$

Solutions aqueuses.— Les solutions aqueuses ont été étudiées par comparaison avec l'eau.

Les propriétés des solutions électrolytiques relativement aux ondes électriques ne dépendent que de leur conductibilité. Ainsi une solution de sulfate de cuivre ou de sel marin qui présente une conductibilité 1000 fois environ plus grande que celle de l'eau pure, possède un indice de réfraction plus grand de 1,5 p. 100 à peine. Puisque l'indice augmente avec la conductibilité, on peut se demander ce que devient le pouvoir diélectrique. Il faut définir d'abord ce qu'on entend par pouvoir diélectrique d'un conducteur. Ce pouvoir diélectrique ε peut être défini par l'équation du champ électromagnétique

$$\frac{\varepsilon}{v^2}\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} + 4\pi\sigma\frac{\partial P}{\partial t} = \Delta P = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2}$$

P étant le champ électrique, σ la conductibilité mesurée en unités absolues électromagnétiques pour les courants constants ou alternatifs de faible fréquence, v le nombre de Maxwell. D'après les résultats expérimentaux, le pouvoir diélectrique d'une solution doit décroître un peu quand la concentration augmente; la variation observée serait du reste de l'ordre des erreurs d'expérience. Mais on peut affirmer que le pouvoir diélectrique de l'eau n'augmente pas quand on y fait dissoudre un électrolyte jusqu'à ce que la conductibilité devienne 11.10^{-7} fois celle du mercure.

La solution de sucre de canne possède un

indice de réfraction qui décroît notablement quand la concentration augmente, ce qui ne tient pas à la conductibilité, puisque le sucre n'est pas un électrolyte. Mais cette diminution est moins grande que ne l'indiquerait la règle des mélanges, en adoptant pour le pouvoir diélectrique du sucre le nombre de Thwing, 4,19.

Mais les solutions sucrées ont une propriété remarquable; elles ont un pouvoir absorbant anomal pour les ondes électriques. L'absorption est la même pour une solution sucrée de conductibilité $< 6.10^{-10}$ que pour une solution électrolytique de conductibilité $3.00.\ 10^{-10}$. Or cette absorption anomale doit être corrélative d'une dispersion anomale.

Effectivement, M. Drude a trouvé 35,2 en solution étendue, 14,3 en solution concentrée, pour le pouvoir diélectrique, tandis qu'avec des oscillations seize fois plus lentes Thwing a trouvé 52.

Les substances dont le poids moléculaire est grand sont celles qui présentent le plus souvent une absorption et une dispersion anomales, surtout quand leur molécule renferme des groupes oxhydriles. C'est précisément le cas du sucre. Le sucre a un grand poids moléculaire et au point de vue électrique, une solution sucrée se comporte en résumé comme un liquide dont le poids moléculaire serait compris entre celui de l'eau et celui du sucre et se rapproche d'autant plus de ce dernier que la solution est plus concentrée. M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Le marine da guerra del mondo al 1897 (Les marines de guerre du monde en 1897); par LORENZZO D'ADDA. — *Hoepli*, éditeur, Milan.

Sous ce titre, la maison Hœpli de Milan vient d'ajouter un ouvrage très important à sa riche collection de manuels techniques. Il serait banal de répéter que tous les ingénieurs et électriciens ont dit ou lu ici même, sur l'élégance des volumes, leur exécution parfaite au point de vue typographique, etc. Comme toujours le côté matériel ne laisse rien à dérirer. Quant à la partie scientifique, outre qu'elle mérite une mention spéciale, elle emprunte un intérêt particulier à la situation actuelle où les marines de six colosses et d'un pygmée sont en présence.

L'auteur M. Lorenzo d'Adda, ingénieur du génie maritime, se défend modestement d'avoir fait autre chose qu'une vaste compilation sur le désir de son savant éditeur. Il y a mieux que cela dans la conception et l'exécution de ce manuel : il y a un travail considérable présenté avec un rare esprit de méthode.

L'ouvrage donne, pour *trente-trois* nations, classées par ordre alphabétique pour la simplicité des recherches, depuis la République Argentine jusqu'au Venezuela, en passant par l'Angleterre, la France, la Russie, la Turquie, etc., les noms, dimensions, cuirassements, vitesses, puissances de machines, artillerie, etc., de *tous* les navires en service ou sur chantier, quelle que soit leur force, vaisseaux, croiseurs, gardes-côtes, torpilleurs, chaloupes et *sous-marins*. Ces détails sont groupés sur des tableaux fournissant le lieu et la date du lancement, le déplacement, les hauteurs des parties émergeantes ou immergées, le nombre de tourelles, de réduits, les diverses épaisseurs de cuirasses, de ponts blindés, le nombre d'hélices, de tubes lance-torpilles, de tonnes de charbon, d'hommes d'équipage et enfin de pièces d'artillerie de tel ou tel modèle, avec indication des calibres, poids, portées, depuis le Armstrong de 254 jusqu'au Hotchkiss de 37 mm. Chaque série de tableaux se termine, pour chaque nation, par deux relevés d'ensemble : l'un donnant le total des vaisseaux de tout rang, depuis le cuirassé monstre jusqu'au chétif sous-marin, avec une échelle des vitesses obtenues en service ; l'autre réservé à l'artillerie, indiquant le modèle, le métal, la longueur d'âme (en calibres), le poids de la pièce, de la charge, du projectile, la vitesse initiale, l'épaisseur de cuirasse perforable à bout portant, la nature de la poudre, et donnant les éléments analogues pour les fusils et revolvers réglementaires. Viennent ensuite des notices sur l'administration maritime, les arsenaux, établissements privés ou publics de construction navale, le personnel, le matériel, le contrôle, le commissariat, les écoles navales, le recrutement, les cadres d'état-major et de troupes, la valeur des budgets

maritimes des sept dernières années, pour chaque nation, et un code de droit maritime international. Ces notices sont parfois semées d'appréciations et de critiques fort originales : citons au hasard le passage relatif à la nouvelle École supérieur de marine installée à Paris et celui qui peint la situation de la flotte turque lors de la célèbre démonstration de Kiehl.

De nombreuses figures au trait représentent en coupe, profil, plan, les types les plus divers et les plus nouveaux de vaisseaux, croiseurs... gardes-côtes du monde entier, avec la position de toutes les pièces de fort calibre et le numéro de ce calibre. Ainsi pour la France seule, 27 figures montrent les plans et profils du *Jauréguiberry*, du *Charlemagne*,... du *Carnot*,... etc. Ces croquis indiquent aussi les parties blindées ou simplement protégées et la position des ponts blindés, découvrant de la sorte le fort et le faible de chaque type. Nous ne nous étendrions pas sur une étude de ce genre dans un journal tel que l'*Éclairage Électrique*, si là comme partout nous ne trouvions l'électricité se pliant à tous les besoins, utilisée de toutes façons. Nul, sans être marin, n'ignore aujourd'hui quel rôle considérable elle joue dans la manœuvre des pièces d'artillerie, des monte-charges, dans l'éclairage du bord (projecteurs ou signaux) enfin et surtout dans la propulsion des *sous-marins*.

A ce dernier point de vue tout spécial l'ouvrage de M. L. d'Adda ne pouvait rester lettre morte pour les électriciens. On y trouve d'utiles renseignements sur ce genre de bateaux que certaines puissances dédaignent ou repoussent, mais que d'autres, telles l'Allemagne, la Grèce, la Turquie, l'Espagne, les États-Unis, le Portugal, l'Italie et la France cherchent constamment à perfectionner. Dans le manuel *Les marines de guerre du monde* on n'a pas négligé de parler de ces engins dont quelques-uns sont mixtes (c'est-à-dire marchent à la vapeur à la surface de l'eau), mais qui tous n'utilisent, une fois immergés, que l'électricité comme force motrice. Des plans accompagnent même la description d'un de ces dangereux appareils dont le secret, on le voit, est assez mal gardé. Si d'une part l'ouvrage présente pour les officiers de marine de tout rang, l'avantage de fournir immédiatement tous les renseignements nécessaires en cas de combat, sur la force, l'artillerie, la vitesse, l'ancienneté de service d'un navire ennemi, il offre d'autre part aux ingénieurs celui d'indiquer les types et le nombre des sous-marins électriques actuels ainsi que leur puissance et leur vitesse et il montre par suite ce qu'il leur reste à faire dans cet ordre d'idées. La question mérite réellement l'attention des électriciens, car le problème est encore loin d'être complètement résolu.

Au total, l'impression qui se dégage de la lecture de ce manuel, mis à jour à la veille de son tirage au commencement de l'année courante, est la suivante : c'est pour l'officier de marine, un précieux *vade mecum ;* c'est pour l'ingénieur une abondante source de renseignements techniques ; mais, par-dessus tout, c'est un excellent traité de tuerie mathématique.

Au lieu de tâtonner et de gaspiller ses gargousses de grand prix, l'officier combattant, muni de ce précieux memento, pourra concentrer savamment ses projectiles sur un petit nombre de points vulnérables et détruire en un temps très court le navire ennemi. Si la réciproque existe, la pacification s'ensuivra vite faute d'adversaires et ce ne sera pas un des moindres mérites de l'ouvrage de M. d'Adda qui, en facilitant et en rendant plus méthodiques d'inéluctables boucheries, servira du moins à les rendre plus courtes.

P. Marcillac.

Elektrochemische Uebungsaufgaben (Exercices d'électrochimie); par F. Œttel. — Un vol. in-8° de 53 pages avec figures. — *Knapp*, éditeur, Halle a S.

Cette brochure renferme la description d'une série d'expériences d'électrochimie, qui peuvent être réalisées avec un matériel très restreint, n'excédant pas les ressources ordinaires d'un laboratoire de chimie.

L'auteur commence par donner la description et le mode d'emploi des instruments de mesure indispensables ; les types qu'il recommande sont bien appropriés à leur but : leur construction est robuste et leur prix relativement peu élevé. Les méthodes de calibrage qu'il indique sont simples et rapides, sans compter une précision dont on n'aurait que faire ici.

Ensuite sont indiquées les expériences proprement dites, comprenant un exemple de presque toutes les réactions utilisées dans l'électrochimie pratique : elles sont conduites de manière à faire

voir surtout comment les résultats sont modifiés par les circonstances expérimentates.

Enfin le dernier chapitre, dû au professeur Elles de Giessen, traite de quelques réactions organiques réalisées par l'électrolyse, la préparation de l'iodoforme, par exemple.

Le livre nous semble une excellente introduction à l'étude et à la pratique de l'électrochimie, qui prend dans la technique une place de plus en plus importante. M. L.

NÉCROLOGIE

Galileo Ferraris [1]

Messieurs,

Le Conseil de présidence de notre association, interprète des sentiments de profonde vénération que suscite en nous la mémoire de Galileo Ferraris, l'une des gloires de la science de notre époque, m'a chargé de vous entretenir de cet ingénieur — trop vite disparu au milieu d'universels regrets — dont l'esprit éminemment scientifique sut faire progresser la science et la rendre captivante ; de cet homme de bien qui a laissé à tous de vifs souvenirs de sympathie et d'affection ; de ce savant, météore lumineux, resplendissant de tout un monde de connaissances humaines, qui s'éteignit si subitement, à la douloureuse surprise de tous ceux qui admiraient en lui non seulement son puissant génie, mais aussi sa délicatesse d'âme, et sa noblesse de cœur...

... Galileo Ferraris naquit le 31 octobre 1847. à Livorno-Vercellese, de parents laborieux et austères... A peine s'était-il adonné à la science qu'il se pénétra de l'idée, qui ne l'abandonna jamais depuis, que le physicien, le mathématicien et l'ingénieur devaient concentrer leurs efforts pour asservir les forces naturelles réparties à la surface du globe. Aussi, tous les moyens de transmission de l'énergie depuis les plus rudimentaires et les plus coûteux, comme les roues et les câbles, jusqu'aux plus perfectionnés, comme ceux qui utilisent les fluides comprimés, jusqu'à enfin la transmission par l'électricité que l'on peut considérer comme sans limites, ont-ils été les sujets de sérieuses études où l'on retrouve toujours le puissant génie qui illumina toutes les œuvres de Galileo Ferraris.

... Très jeune encore, il adopte la devise de Hirn : « La force motrice fut toujours localisée, dorénavant elle sera mobilisée. » Son premier mémoire a pour objet *les transmissions télédynamiques de Hirn ;* il le présente pour obtenir le diplôme d'ingénieur civil qu'il obtient à 22 ans, après un brillant examen de sortie de l'École d'application de Turin.

... Deux années plus tard, après avoir publié quelques notes remarquables, il présente, à la Faculté des Sciences de l'Université de Turin, un important travail : *Sur la théorie mathématique de la propagation de l'électricité dans les solides homogènes* qui lui valut le titre d'agrégé et attira sur lui l'attention des savants. Entre autres résultats, il y démontrait que la vitesse de propagation des ondes électriques le long des conducteurs de résistance nulle ne diffère de celle de la propagation de la lumière dans les espaces interstellaires que d'une quantité de beaucoup inférieure aux erreurs probables d'observation.

... Plus tard nous le voyons s'occuper plus spécialement des phénomènes éthériques auxquels la rétine de notre œil prend une part active, et bientôt après, il recueille les fruits d'une étude laborieuse et ardue des phénomènes lumineux en publiant de 1877 à 1880, deux excellents ouvrages d'optique. Le premier, intitulé *Les principales propriétés des instruments dioptriques*, est un recueil de science pure, rempli d'exposés clairs et précis et qui lui ouvrit les portes de la célébrité à l'étranger... Le second : *Sur les télescopes à objectifs composés de plusieurs lentilles distantes les unes des autres*, est un ouvrage tout aussi précieux tant au point de vue théorique qu'au point de vue pratique... C'est vers cette même époque, lors de l'apparition des courants alternatifs dans le domaine de la pratique, que dans l'esprit du regretté savant germa l'idée de la différence de phase entre deux mouvements sinusoïdaux, idée qui devait lui servir de base à une merveilleuse série de raisonnements et l'amener à la conception du champ magnétique tournant. Les deux remarquables ouvrages : *Une démonstration du principe de Helmholtz sur la nature des sons recueillis dans quelques expériences faites avec le téléphone*, et *Sur l'intensité des cou-*

[1] Extraits d'un discours prononcé par M. Riccardo Arno à l'assemblée générale de l'Association électrotechnique italienne du 7 mars 1897.

rants électriques et des extra-courants dans le téléphone, qu'il publia en 1878, montrent combien cette conception était déjà nette et claire dans son esprit.

... Chargé, un an auparavant, du cours de physique technique au Musée industriel et de l'enseignement physique à l'École de guerre, Ferraris acquérait bientôt par ses propres mérites les titres de professeur titulaire dans ces deux instituts, et l'Académie des sciences de Turin ne tardait pas à l'appeler dans son sein.

... Ses travaux ne se bornèrent pas seulement aux recherches scientifiques. Il se fit bientôt admirer comme brillant vulgarisateur de la science dans les deux intéressantes conférences qu'il fit successivement en 1878 et en 1879, à la Société des ingénieurs civils de Turin, la première sur : *Le téléphone Graham-Bell*, la seconde sur : *La lumière électrique*. Dans cette dernière conférence, faite à une époque où l'éclairage par l'électricité ne faisait pour ainsi dire que de naître, Ferraris, s'appuyant sur les lois de la conservation de l'énergie et de l'équivalence, exposait les principes de cette nouvelle industrie avec une merveilleuse clarté ; il expliquait ensuite comment et dans quelles conditions on pouvait résoudre, avec l'emploi du courant électrique, le problème général de l'éclairage qui consiste, comme on le sait, en l'accumulation d'une grande quantité de chaleur dans un très petit espace ; puis, parlant des machines à courant continu, dont l'invention était encore toute récente, Ferraris en expliquait le principe fondamental dont il revendiquait la paternité pour l'Italie, Antonio Paccinotti, l'ayant publié dès 1860.

... Délégué officiel du gouvernement italien au Congrès international d'Électricité de 1881 et membre autorisé du jury de l'Exposition, Galileo Ferraris fit une étude approfondie des systèmes et appareils divers que renfermait ce véritable traité matériel d'électricité qu'il avait sous les yeux et les analysait dans son rapport avec cette prodigieuse facilité qui lui était familière et lui permettait de rendre sous une forme claire et simple les problèmes les plus compliqués. Dans ce rapport, il faisait ressortir l'importance des systèmes proposés par Marcel Deprez pour la distribution de l'énergie électrique, il y exposait, avec non moins de clarté, diverses considérations relatives à ces systèmes, en commentait longuement et en discutait le principe, qui, bien qu'exact en tous points, avait été présenté par Marcel Deprez, sous une forme qui de prime abord paraissait paradoxale.

... A partir de cette époque qui fut le point de départ du développement de l'électricité industrielle, Galileo Ferraris s'attacha plus spécialement à cette branche de la physique appliquée, dont l'importance allait sans cesse croissant. C'est pourquoi nous le voyons de nouveau délégué à la conférence internationale d'électricité tenue à Paris en 1882 pour la détermination des unités électriques, et, l'année suivante, commissaire à l'exposition d'électricité de Vienne. En même temps, il s'occupait activement de l'Exposition qui devait avoir lieu l'année d'après à Turin, et la Section internationale d'électricité, dont il était le président, a été complètement et admirablement organisée par ses soins.

Nous l'avons souvent entendu dire que cette exposition a toujours marqué une date mémorable dans l'histoire de l'électrotechnique ; c'est, en effet, dans celle-ci, que les générateurs secondaires de Gaulard firent leur première apparition. Ces appareils ont de suite excité la curiosité des savants et des ingénieurs ; le jury de l'Exposition nomma une Commission, dont Ferraris faisait naturellement partie, qu'il chargea d'examiner cette nouvelle invention.

A cette époque, les courants alternatifs n'étaient dans la plupart des esprits qu'à l'état d'idées confuses et éparses ; aussi quelques-uns des membres de la Commission, à la suite d'expériences avec les transformateurs Gaulard, pensèrent-ils que ces appareils étaient sans valeur, parce qu'en calculant leur puissance par le produit de l'intensité efficace par la différence de potentiel efficace, ils trouvaient qu'ils absorbaient autant d'énergie en travaillant à vide qu'en travaillant en charge sur le circuit secondaire.

Ferraris, que ces résultats ne surent persuader se mit courageusement à l'œuvre ; il édifia une théorie suivie d'expériences complètes sur les phénomènes qui surviennent dans les générateurs secondaires et en consigna les résultats dans le magistral mémoire : *Recherches théoriques et expérimentales sur le générateur secondaire Gaulard et Gibbs*, qui fut présenté à l'Académie des Sciences de Turin, le 11 janvier 1885.

Ce travail est un véritable chef-d'œuvre de physique-mathématique montrant avec quelle rare habileté, il savait se servir du calcul comme instrument de recherches...

Partant des équations qui lient les intensités de courant dans les circuits primaires et secondaires, les forces électromotrices et différences de potentiel, et l'intensité de la force magnétisante du noyau, le savant mathématicien en déduisit une théorie complète du transformateur qui l'amenait à la découverte d'un phénomène ignoré jusqu'alors, et la principale cause des erreurs de calcul des précédents expérimentateurs : le décalage de phase qui existe entre la différence de potentiel et l'intensité du courant primaire. Ces recherches eurent, dans l'électrotechnique, une immense importance ; elles furent les premières qui attirèrent l'attention des électriciens sur le rendement élevé des transformateurs et firent entrevoir la possibilité du transport économique de l'énergie à distance. Mais Ferraris ne se contentait pas d'étudier et d'expérimenter ces appareils ; il publia la même année dans la *Lumière Électrique* [1] une note remarquable dans laquelle, partant des principes fondamentaux qu'il avait édifiés, il comparait, en mettant en évidence les nombreux avantages de l'un, le type de transformateur à circuit magnétique fermé de Ganz au type de Gaulard.

Comme complément à son étude sur les transformateurs, Galileo Ferraris publiait, deux années plus tard, les résultats d'une recherche théorique et expérimentale : *Sur les différences de phases des courants, sur le retard de l'induction et sur la dissipation de l'énergie dans les transformations.* Dans cet ouvrage Ferraris discute et interprète les résultats obtenus dans plusieurs séries de mesures sur la différence de phases entre les deux courants, primaires et secondaires d'un transformateur ; il examine les relations existant entre cette différence de phase et la perte d'énergie due aux courants de Foucault et à l'hystérésis ; sa méthode dite des trois électrodynamomètres lui servit à effectuer ces mesures par lesquelles il trouve entre autres résultats que le courant secondaire présente un retard de phase sur celle qui devrait se produire s'il n'y avait ni courants de Foucault ni hystérésis.

Un nouveau problème occupait bientôt après l'esprit de Ferraris...

... La superposition de deux champs magnétiques alternatifs, d'égale fréquence, placés perpendiculairement l'un à l'autre et présentant une différence de phase, doit produire un champ magnétique résultant, ne s'annulant à aucun moment et tournant en accomplissant un tour entier pour chaque période des champs composants. Les deux champs alternatifs pouvant être produits par l'aide de deux courants circulant dans des circuits croisés, le Maître en conclut qu'on pouvait obtenir un champ tournant, à l'aide de deux spires immobiles et parcourues par des courants alternatifs, champ engendrant les mêmes effets que ceux que l'on observe dans la rotation d'un aimant, et les mêmes phénomènes d'induction que ceux que l'on obtient en répétant les expériences classiques d'Arago. La grande découverte du principe du champ tournant était faite.

... Les expériences fondamentales que Galileo Ferraris entreprit et termina pendant les mois d'août et de septembre 1885, confirmèrent largement ses prévisions. Elles sont décrites dans son classique *Mémoire sur la rotation électrodynamique produite au moyen des courants alternatifs*, publié en entier dans le volume XXIII des *Atti del. Acad. del. scienze di Torino*. Parmi les nombreuses expériences décrites est celle concernant l'application du principe découvert à la construction du premier moteur asynchrone polyphasé.

... Bientôt savants et praticiens entreprirent, tant dans les laboratoires que dans les ateliers de construction, de nouvelles expériences sur les champs tournants et peu d'années après s'élevait comme un monument digne du génie de l'homme qui en avait fourni le germe, la grandiose transmission d'énergie de Lauffen-Francfort, laquelle démontrait au monde étonné que le problème de la transmission de l'énergie à grande distance était techniquement résolu.

... Galileo Ferraris avait attiré sur lui l'attention des électriciens du monde entier ; il fut chargé d'importantes missions scientifiques auxquelles il apporta tant de lumière et de savoir qu'il suscita partout l'admiration et fut applaudi de tous.

En 1889, il fut envoyé à l'Exposition universelle de Paris, ayant pour mission d'étudier les progrès de l'industrie électrique. Il publia son rapport l'année suivante dans un opuscule remarqué ; parmi les sujets qui y sont traités, je rappellerai seulement les intéressantes discussions sur les éléments dont dépendent l'exactitude et le prix de revient d'une égalisation de courant sur un réseau à fils multiples à l'aide de l'appareil d'Elihu Thomson, bien qu'il n'eût encore aucune connaissance de la théorie de ce dernier.

La même année il était appelé à Francfort pour

[1] T. XVII, p. 145 ; 25 juillet 1885.

faire partie d'une commission ayant pour mission de faire une étude, restée depuis mémorable, sur les critiques faites sur les installations électriques de cette ville.

... En 1893, il fut nommé délégué du gouvernement italien au congrès international d'électricité de Chicago, dont il fut élu vice-président. Là encore il accomplit une œuvre méritoire, car, par des définitions clairement et rigoureusement exposées, il réussit à aplanir toutes les difficultés inhérentes à la définition de l'*henry* et s'opposa formellement à l'adoption du mot *international* dans les définitions du *joule* et du *watt*. En outre Galileo Ferraris prit part aux travaux de la section de science pure où, à l'occasion de son élection comme président, il prononça un brillant discours en anglais, qui fut chaleureusement applaudi, dans lequel il retraçait la marche progressive de l'électricité et le rapide développement de ses applications en Amérique.

... Il y a deux ans seulement, il recevait de l'étranger de nouvelles marques d'estime et de confiance. Il fut élu membre de la commission chargée par la ville de Lyon d'examiner et de se prononcer sur les projets présentés au concours pour l'importante installation actuellement en cours d'exécution.

. . . .

... Deux mois seulement se sont écoulés depuis l'époque où, au milieu des applaudissements et des toasts dans lesquels débordait la vénération qui emplissait nos cœurs, nous acclamions Galileo Ferraris comme notre président. La chère et sympathique ville de Milan, le grand cœur de notre Italie, nous accueillait alors avec tant d'effusion et d'enthousiasme que dans l'âme du maître et dans les nôtres brillait un ardent rayon de satisfaction.

Dans ce jour de joie nos cœurs vibraient à l'unisson, nos âmes se sentaient pénétrées d'admiration pour l'illustre savant. Aujourd'hui, pour la seconde fois, nous nous trouvons réunis; mais c'est un jour de deuil et si nos cœurs vibrent encore à l'unisson, c'est d'une indicible angoisse et d'une profonde tristesse.

L'idéal circuit qui nous reliait à lui s'est brusquement rompu.

. . . .

RICCARDO ARNO,
Professeur au Museo industriale de Turin.

CORRESPONDANCE

Sur la dissymétrie du champ électrostatique d'un tube de Rœntgen.

Monsieur le Directeur,

Dans le numéro du 27 mars de votre journal, en rendant compte de la séance de la Société française de physique, M. C. Raveau remarque au sujet des effets observés dans mes expériences (dissymétrie du champ électrostatique d'un tube Rœntgen) que ces effets paraissent s'expliquer aisément par l'action *magnétique* du courant circulant dans le tube.

Cette explication ne doit pas être si aisée, vu que j'ai constaté la même dissymétrie du champ dans ses effets sur des aiguilles découpées dans des matières *non magnétiques*, du carton ou du laiton par exemple. C'est donc bien un effet électrostatique.

Veuillez agréer, etc...

Désiré KORDA.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

CHICAGO. — *Station centrale*. — Le développement qu'a pris, pendant ces dernières années, le réseau de tramways électriques de la Chicago City Railway C°, a nécessité l'établissement d'une seconde station centrale pour venir en aide à celle que possède la Compagnie dans la 52e rue, à Chicago. L'achat du terrain de la nouvelle station fut conclu en juin 1896 et aujourd'hui, nous dit le *Street Railway Journal*, s'élève à cette même place, entre la 49e rue et l'avenue Oakley, un immense bâtiment destiné uniquement à la production du courant pour les réseaux de tramways et comprenant trois halls mitoyens affectés l'un aux générateurs de vapeur, l'autre aux moteurs et le troisième aux dynamos.

Le bâtiment des chaudières comportera, après achèvement, 24 générateurs tubulaires à retour de flammes pouvant supporter une pression de 30 kg par cm^2. Ils seront disposés en 4 batteris

dont 6 chacune formant deux rangées dont une seulement est terminée et mise en service. L'alimentation des foyers est entièrement automatique. Les réservoirs à charbons qui longent la partie supérieure des générateurs, sont eux-mêmes remplis mécaniquement et sans interruption à l'aide d'une chaîne à godets encadrant la rangée de deux batteries en passant, à la partie supérieure, au-dessus des bacs à charbon, et à la partie inférieure dans les sous-sols, où les godets peuvent remplir une nouvelle fonction, celle de transporter au wagon à escarbilles les produits de la combustion. Pour plus de clarté nous avons reproduit dans le schéma suivant la rangée des deux groupes en service montrant la disposition et le fonctionnement du « coal conveyor » ou transporteur en question. Comme on le voit, cette chaîne de godets est mise en mouvement par le moteur de 15 chevaux qui est placé entre les deux groupes de chaudières. Les godets sont montés sur une suspension qui leur permet de se maintenir toujours dans la même position malgré les différents mouvements auxquels ils sont soumis. Ils se remplissent de charbon en passant sous la soute à entonnoir que l'on voit sous le wagon de droite, puis montent verticalement pour venir longer les bacs à charbon où ils se déversent grâce à un crochet dont chaque bac est pourvu et que l'on peut rabattre dès que celui-ci est rempli. Les godets vides poursuivent leur route et reviennent, par les sous-sols, reprendre une nouvelle charge.

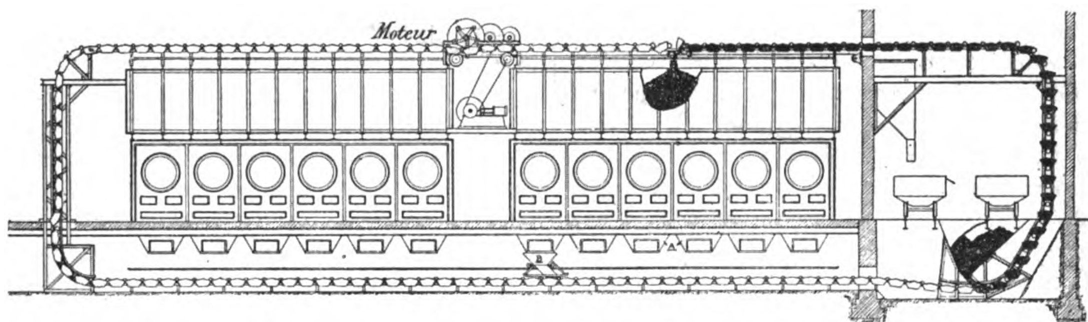


Fig. 1. — Dispositif du « coal conveyor » ou remplisseur automatique des réservoirs à charbon de la station centrale de Chicago.

Les cendriers ne sont vidés que deux fois par jour. Il est nécessaire pour transporter les escarbilles dans le wagon de gauche, d'arrêter un instant le remplissage des godets à la soute à charbon ; on ferme donc la trappe de cette soute, on arrête la chaîne dès que les derniers godets sont vidés et on procède au remplissage de ceux qui se trouvent au-dessous des cendriers. A cet effet, on se sert d'un entonnoir B, mobile sur un rail longeant les portes d'évacuation ; dès que l'opération est terminée la chaîne est remise en marche et les godets viennent déverser leur contenu dans la poche C surplombant le wagon à escarbilles. Quoi qu'il n'y ait actuellement qu'une seule des deux rangées de chaudières qui soit pourvue de ce dispositif, celle qui est déjà en fonction, il a été décidé que l'autre rangée serait pourvue d'un système en tous points analogue à celui qui vient d'être décrit.

La salle des machines, déjà fort avancée, comprendra après achèvement 12 moteurs d'une puissance maxima de 2 000 chevaux chacun. Ceux déjà installés sont groupés par paires et commandent par deux transmissions principales constituées par des câbles, un groupe de dynamos de puissance correspondante.

Les dynamos occupent la troisième travée du corps de bâtiment et sont pour ainsi dire dans la même salle que les machines, car aucune cloison ne les sépare. Ce sont des dynamos Walker, à dix pôles, du type spécial pour tramways ; elles sont au nombre de 6 et ont une puissance de 880 kilowatts chacune. Le courant est engendré à la tension de 500 à 550 volts pour un débit de 1600 ampères. Ces machines n'ont de particulier que les supports des balais qui sont d'une simplicité remarquable ; l'induit présente en raison de sa conformité une très grande surface de contact avec l'air extérieur ce qui limite son échauffement ; enfin, comme pour beaucoup de dynamos à courants continus de grande puissance, le courant d'excitation est fourni par une petite machine

qu'entraîne un renvoi partant de la poulie de la génératrice.

Le tableau général de distribution occupe une galerie de 32 m de long et contribue pour beaucoup à l'ornementation de la salle en raison du soin et du luxe même que les Américains apportent dans leur confection. Outre les appareils de régulation des génératrices et ceux destinés à l'éclairage de l'usine qui occupent une assez large place sur le tableau, se trouvent ceux de 102 feeders occupant 52 panneaux.

La Chicago City Railway C° compte utiliser tout le courant produit dans cette puissante station à bref délai ; déjà comme nous l'avons dit plus haut une rangée de chaudières ainsi que les moteurs et dynamos correspondantes sont en fonction le reste du matériel générateur sera prochainement terminé et mis en service.

Une chose qui peut paraitre curieuse pour une station à vapeur de cette importance, c'est qu'on n'ait pas préféré le système compound et à condensation au lieu de l'échappement à l'air libre. Toutefois, ceux qui l'ont fait équiper prétendent que le système dit à haute pression qu'ils ont choisi, a sur le précédent plusieurs avantages importants aux points de vue industriel et mécanique. D'abord, les effets des variations de charge peuvent être considérablement amoindries en raison de ce que, quand les moteurs fonctionnent ensemble une variation notable de la charge de l'un se répartit dans les autres. Ensuite, les moteurs n'étant pas à échappement libre direct, les tuyaux d'évacuation remplissent le rôle d'éjecteurs et servent à l'alimentation des chaudières, remplaçant ainsi les nombreuses pompes très coûteuses qu'il eût fallu employer avec le système à condensation.

New-York. — *Sous-station. Accumulateurs.* — Une des gigantesques maisons de New-York, connue sous le nom de Bowling Green Building vient d'être transformée en sous-station centrale. A cet effet, une puissante batterie d'accumulateurs a été installée dans les sous-sols, alimentant à la fois le réseau qui dessert la station Edison de la rue Duane aux heures de faible charge, et les nombreuses lampes et moteurs répartis dans l'établissement même. La consommation d'énergie dans ce bâtiment qui ne compte pas moins de 14 étages était si considérable qu'on avait dû relier le poste de distribution générale à l'aide de feeders greffés sur ceux du réseau principal. Cette disposition n'a pas été modifiée, elle sert aujourd'hui à transmettre le courant de décharge de la batterie sur le réseau pendant que les machines de la station de la rue Duane sont arrêtées.

La batterie d'accumulateurs occupe le sous-sol supérieur en son entier. Le plancher a été complètement refait et est constitué par des couches alternées de béton et d'asphalte avec interposition, sous la couche supérieure, d'un lit de briques perforées servant de conduites aux feeders de la batterie, un carrelage en tuiles vernies et à l'épreuve de l'acide recouvre le tout. Des dispositions semblables ont été prises pour protéger les murs de l'humidité et principalement deux des piliers de soutènement de l'édifice qui traversent la salle : la base de chacun d'eux est d'abord recouverte jusqu'à une certaine hauteur d'une feuille de plomb, puis d'une couche de ciment retenant d'épaisses plaques d'ardoises dont la base est, ainsi que celle de la feuille de plomb, noyée dans les couches du sol. Ces mesures préventives contre l'eau s'écoulant des batteries et l'humidité qui en résulte, ont été rendues nécessaires par la raison que cette eau et humidité auraient pu dégrader les fondations sur lesquelles repose un poids énorme et compromettre par suite la solidité de l'édifice.

La batterie se compose de 150 éléments Electric Storage C°, séparés en deux groupes de 75 chacun en comprenant dans ce nombre les 20 éléments régulateurs affectés à chacun d'eux. Les batteries sont connectées d'après le système à trois fils. L'intensité normale du débit est, pour la charge, de 400 ampères par groupe, et pour la décharge, de 4000 ampères pendant une heure ou 800 ampères pendant 20 heures pour la batterie entière.

Les connexions entre les batteries proprement dites et les groupes d'éléments de régulation sont extérieures et sont constituées par de larges barres de cuivre nu ayant respectivement 7,5 cm de largeur et 1,7 cm d'épaisseur. Ces barres sont soudées aux plaques de jonction des éléments et simplement rivées à leurs points de jonction. Elles sont recourbées à angle droit à une hauteur convenable pour ne pas gêner la circulation, et supportées sur leur parcours par des isolateurs spéciaux suspendus au plafond ou fixés sur des consoles le long des parois.

Dans un petit local adjoint à la salle des accumulateurs, sont installés sur un même bâti deux

survolteurs et leurs moteurs, à l'aide desquels la force électromotrice du courant d'alimentation est amenée à la valeur convenable pour la charge de la batterie. Les moteurs ont une puissance de 75 kilowatts à 240 volts et actionnent séparément ou ensemble les deux survolteurs. Ces derniers débitent généralement 1200 ampères sous 60 volts. De plus, grâce à leur disposition, ils peuvent être employés ensemble ou individuellement à élever le potentiel du courant de décharge pour l'alimentation d'un point éloigné du réseau. Les deux réducteurs-adjoncteurs qui se trouvent dans le même local ont comme particularité un cadran de repère qui est mis en mouvement par la poignée de manœuvre du réducteur, et par lequel on peut suivre le nombre d'éléments mis en charge et connaître le numéro du dernier relié. Par suite, avec ce dispositif, les touches n'ont pas besoin d'être visibles; l'ensemble est renfermé dans un tableau spécial, ne laissant apparent que les organes de manœuvre et les cadrans indicateurs. Le même tableau porte tous les commutateurs, appareils de mesures et accessoires en relation avec la batterie. Les commutateurs des feeders occupent un tableau voisin dont les dimensions sont très restreintes pour le nombre d'appareils qu'il comporte, cela grâce à l'emploi d'un système de commutateurs à couteaux tenant très peu de place tout en assurant une sécurité satisfaisante de fonctionnement.

La ventilation des différentes parties de la sous-station est assurée par des conduites perforées longeant les plafonds dans lesquelles un ventilateur actionné par un moteur électrique d'un quart de cheval envoie un puissant courant d'air qui entraîne avec les émanations acides tous les gaz humides pouvant détériorer les murs de l'édifice.

DIVERS

Statistique des téléphones et des télégraphes en Autriche. — D'une statistique que vient de publier le *Journal télégraphique* nous relevons que 22 nouveaux réseaux téléphoniques urbains ont été créés pendant l'exercice 1895-1896, et plusieurs réseaux interurbains. Au 1er janvier 1896, le nombre des premiers atteignait 143 avec 59 455,59 km de fils de lignes ; celui des seconds, 53, avec 8 639,22 km de fils. Il y avait à la même époque 18 663 abonnés, 128 bureaux centraux et 287 cabines publiques réunissant un total de 263 commutateurs et 19 416 appareils. Le nombre des communications, y compris les télégrammes de départ et d'arrivée, les phonogrammes et avis, a été de 63 576 417. Les recettes brutes ont été de 5 348 400 fr. Les dépenses d'exploitation et celles d'installation des nouveaux réseaux ont atteint 2 696 948 fr, laissant ainsi à l'Administration des téléphones un bénéfice net de 2 651 452 fr.

Parmi les villes qui ont le plus grand nombre d'abonnés Vienne tient la tête avec 8 343, Prague vient ensuite avec 1 600 ; dans dix-huit autres villes d'Autriche le nombre des abonnés varie de 110 à 854, dans toutes les autres desservies par les réseaux leur nombre est inférieur à 100.

La taxe pour le trafic local sur les réseaux de l'État est de 10 kreutzer (0,25 fr) pour une conversation de trois minutes. Pour le trafic interurbain, la taxe d'une conversation de même durée est de 1 florin 80 kreutzer (4,50 fr) entre Vienne et Berlin, 1 florin 50 kreutzer (3,75 fr) entre Vienne et Prague, Vienne et Brünn, Vienne et Temesvar. Pour les autres stations elle varie de 30 kreutzer (0,75 fr) à 1 florin 50 kreutzer (3,75 fr). Pour les conversations urgentes la taxe est du triple de la taxe ordinaire.

Les relevés du Bureau de statistique autrichien sur les lignes télégraphiques établies sur le territoire de l'État accusaient, au 1er janvier 1896, une longueur totale de fils de ligne de 97 078,57 km dont 87 922,99 km en fil de fer d'un diamètre variant de 2,5 m à 5 mm ; 215,56 km en fil de cuivre ; 7 015,27 km en bronze silicieux et 89,68 en fil d'acier. Les câbles souterrains avaient une longueur totale de 1 393,65 km, les câbles sous-marins 441,45 km.

Le nombre des appareils en service dans les bureaux de l'État était de 4 035 dont 3 795 Morse, 182 Hughes simples et 26 duplex, 30 téléphones et 2 appareils translateurs d'Arlincourt. Le nombre des télégrammes échangés s'est élevé à 10 456 496 et ont fourni une recette brute de 4 499 172 fr.

Progrès de l'industrie électrique en Allemagne en 1896. — Dans un intéressant article inséré dans *Elektro-Techniker*, M. R. Lüders retrace le développement des applications de l'énergie électrique en Allemagne, dans différentes branches de l'industrie pendant le cours de l'année 1896. En voici les conclusions :

Dans le domaine de l'éclairage, la création de nouvelles stations ou l'agrandissement des installations existantes donne lieu à une augmentation de 20 p. 100 de la consommation d'énergie, représentée par une moyenne de 150 000 lampes de 16 bougies. Les prix de vente de l'énergie sont généralement peu élevés et ont tendance à diminuer à mesure que les réseaux s'agrandissent; quelques-uns des tarifs sont particulièrement avantageux pour les grands consommateurs d'électricité; l'auteur cite à titre d'exemple celui d'une station d'éclairage dans la Haute-Silésie d'après lequel la lampe-heure revient à 0,06 fr et tombe à 0,024 après 400 heures d'allumage. L'exploitation des stations mixtes, éclairage et traction a donné, paraît-il, de très bons résultats grâce à l'emploi des accumulateurs.

L'auteur ne fournit point de données sur l'extension des applications mécaniques de l'électricité, mais dit que l'emploi de cette dernière comme énergie motrice s'est accru dans des proportions notables et tend à se généraliser de plus en plus. Dans le domaine de la traction, les applications ont, comme on le sait du reste, été très nombreuses sur le territoire allemand si bien que cette contrée est devenue la première d'Europe avec 838 km de lignes complètement terminées et 821 km en installation ou dont les projets sont arrêtés. L'emploi de l'électricité à la manœuvre des engins de gares de chemins de fer a reçu quelques applications importantes dans les gares de Berlin-Westend et d'Untertrücheim; à noter que les courants alternatifs, principalement triphasés, sont plus en faveur pour ces applications que les courants continus.

En télégraphie et en téléphonie, 63 km de fils, avec nouveaux bureaux et appareils en conséquence, ont été adjoints pendant le courant de l'année 1896 aux réseaux primitifs.

Ajoutons qu'en octobre dernier le nombre des stations centrales réparties sur le territoire allemand (non compris les royaumes de Bavière et de Wurtenberg), était de 8554, dont 8160 affectées spécialement à l'éclairage et alimentant un total de 1852000 lampes à incandescence et 79 000 lampes à arc, 111 employées pour des travaux électrolytiques et 618 (y compris quelques-unes d'éclairage) fournissant l'énergie à distance.

L'éclairage par incandescence en Angleterre. — Les statistiques récemment publiées de l'éclairage par incandescence accusent une augmentation de 45 p. 100, pour tout le Royaume-Uni, sur l'année 1895. Londres possède à lui seul 1 462 000 lampes (ramenées à 8 bougies), réparties, en majorité, entre 4 réseaux principaux qui sont: la Westminster Electric Supply Corporation, la London Electric Lightning Company, la Metropolitan Company et la London Electric Supply Corporation. Dans le domaine de l'éclairage électrique public, Londres n'a fait que très peu de progrès depuis l'année dernière; par contre, les provinces ont fait un pas immense dans cette voie grâce à l'exemple donné par Liverpool, Southampton, Exeter, etc. Malgré cela, le nombre de lampes (ramenées à 8 bougies) utilisées en province n'excède que de 150 000 celui qui vient d'être donné pour la métropole.

D'après les courbes que nous avons eues sous les yeux, le courant alternatif et le courant continu sont employés à l'alimentation de ces lampes, à peu près en quantités égales comme on peut le juger par les chiffres du tableau suivant où les chiffres expérimente les nombres de lampes de 8 bougies :

	Courant alternatif.	Courant continu.	Total.
Londres. .	792 000	670 000	1 462 000
Provinces.	778 000	824 000	1 602 000
	1 570 000	1 494 000	3 064 000

L'éclairage municipal de Londres ne comporte que 84 000 lampes de 8 bougies pour 1 378 000 de l'éclairage privé. En province, c'est l'inverse. l'éclairage public domine avec 1 126 000 lampes pour 476 000 de l'éclairage privé.

Nouvelle forme de condensateur. — Nous relevons dans la liste des brevets américains celui relatif à un condensateur, récemment pris par M. W.-R. Westcott et Cie. En ce qui concerne la fabrication du dit condensateur, le procédé n'a rien de nouveau, il consiste à enrouler des bandes d'étain avec interposition d'un diélectrique puis on soumet le rouleau ainsi formé à l'action d'une chaleur modérée pour en évaporer l'humidité. La particularité qui nous a engagé à signaler ce brevet est que l'inventeur, ayant préparé le rouleau comme il vient d'être dit a pu obtenir, en le soumettant à la presse, un condensateur rectangulaire ayant les angles arrondis et une surface absolument plane.

Les capitaux engagés dans l'industrie électrique aux États-Unis. — La valeur totale des capitaux employés, aux États-Unis, dans l'industrie électrique, est estimée d'après le *Cassier's Magazine*, à plus de 10 milliards de francs. Les chemins de fer électriques comptent à eux seuls pour 3 500 millions. Le nombre des voitures de tramways à trôlet dépasse 25 000 et utilise plus de 19 000 km de voies. D'ailleurs les chemins de fer à traction électrique représentent plus de 90 p. 100 des voies urbaines ou de banlieue. 400 millions de francs sont consacrés à l'éclairage électrique y compris les stations centrales de production d'électricité. Dans ce chiffre n'est pas comprise la valeur des établissements de construction de dynamos et accessoires. Il resterait environ 2 500 millions pour le coût des lignes télégraphiques, téléphoniques et de toutes les manufactures consacrées aux diverses branches de l'industrie électrique, ce qui ne paraît nullement exagéré pour un pays aussi vaste et aussi progressif que les États-Unis.

Consommation d'énergie pour l'éclairage électrique en Europe. — En Europe c'est Londres qui tient le premier rang dans la consommation électrique. Londres a treize réseaux d'éclairage, dont trois sont la propriété des paroisses. A la fin de 1896 elle comptait 1 178 000 lampes. Sa dépense en énergie électrique s'est élevée à plus de 15 000 000 de kilowatts.

Après Londres vient Berlin, dont la consommation totale a été de 9 770 000 kilowatts. Un seul réseau de la capitale de la Prusse comporte plus de 166 000 lampes à incandescence et 8 000 lampes à arc.

Paris occupe la troisième place. Il possède sept réseaux dont un municipal, 545 914 lampes, dont 7 448 à arc. 220 ascenseurs électriques, employant près de 2 000 chevaux d'énergie pour l'alimentation des moteurs. La consommation a été, en 1895, de 8 107 008 kilowatts.

Quant aux prix de vente de l'énergie, on sait que l'électricité est payée à Londres 0 55 fr, le kilowatt-heure ; à Berlin, 0 50 fr, le kilowatt-heure, et à Paris, 1,15 fr, le kilowatt-heure.

L'incendie de la station centrale de Toronto (Canada). — Un violent incendie motivé par des causes encore incomplètement élucidées, vient de détruire l'importante station centrale à vapeur de Toronto. Les machines qui comprenaient pour le moins 62 alternateurs pour l'éclairage à arc de puissances variant de 25 à 125 lampes ont été complètement mis hors de service ; les quatre paires de moteurs horizontaux du type Brown-Corliss qui les actionnaient sont, comme le reste, ensevelis sous les décombres, et doivent être assez sérieusement endommagés. Voici, d'après le *Canadian Electrical News*, comment cet accident serait survenu : vers 4 heures du matin, alors que tout le matériel générateur fonctionnait, on vit apparaître des flammes sous le bâti d'un des alternateurs. Immédiatement, les machines furent arrêtées et tout le personnel mettait en fonction les nombreux jets adaptés aux tuyaux de prise d'eau de l'usine ; on se rendit ainsi maître de ce commencement d'incendie et on acheva de l'éteindre à l'aide de grenades remplies d'un liquide acide. Il fut reconnu qu'il avait été causé par l'échauffement d'un palier supportant un des cadres de transmission qui, dans cette station, sont situés sous le plancher de la salle des dynamos. A la suite de cet accident les machines furent remises en marche à l'exception de celle où le feu s'était déclaré et, par mesure de précaution, de ses deux voisines. Au bout de 20 minutes environ, alors qu'on fermait les derniers commutateurs des circuits d'éclairage, des flammes surgissaient de toutes parts du plancher, enveloppant les machines avec une telle rapidité que les mécaniciens n'eurent pas le temps d'arrêter les moteurs ; quelques-uns d'entre eux qui avaient voulu fermer les registres durent s'enfuir par les fenêtres. Enfin, à 5 heures du matin, il ne restait plus des immenses bâtiments de la station qu'un amas de ruines. On attribue ce second incendie à l'action du liquide corrosif des grenades sur l'isolant des câbles à haute tension qui longent la partie inférieure du plancher ; les arcs, résultant des courts-circuits qui se seraient établis entre les câbles auraient enflammé la boiserie de ce dernier et par suite le plancher tout entier.

Pour assurer néanmoins le service de l'éclairage, les représentants de la Compagnie qui exploitait la station incendiée firent immédiatement dériver les fils de lignes dans un bâtiment voisin qui avait été épargné, pendant qu'on lançait des télégrammes à différents constructeurs et directeurs de stations ayant des machines en réserve, pour ériger immédiatement une nouvelle usine volante, devant fonctionner le soir même et alimenter sinon

toutes, au moins une fraction des 2 500 à 3 000 lampes à arc reliées à son réseau.

Grâce au nombreux personnel requis et à l'activité déployée, la nouvelle station pouvait, le même soir, alimenter 300 arcs; la station à incandescence que possède la même compagnie à Toronto, avait reçu des machines lui permettant d'en alimenter un nombre égal; enfin la station centrale des tramways avait, pour cette circonstance, lancé le courant de quelque-unes de ses génératrices sur la partie du réseau desservant les arcs à courant continu. De cette façon, avec un peu de parcimonie dans la répartition de la lumière, la ville n'a pas été plongée dans une complète obscurité.

On procède actuellement au déblaiement des décombres pour reconstruire à la même place une station alimentant la station à arc, comme l'ancienne, mais qui sera entièrement composée de matériaux incombustibles.

Influence de la température sur la dépense d'énergie par les tramways. — D'après une étude minutieuse entreprise par le directeur du service des tramways électriques du district ouest de Boston et résumée dans le *Street Railway Review*, la température aurait une relation marquée avec l'énergie requise pour le fonctionnement des voitures motrices. L'auteur a, en effet, trouvé que la consommation d'énergie pour un nombre donné de voitures, était plus considérable par les grands froids qu'aux températures moyennes; il en attribue la cause à la terre gelée recouvrant les rails à certains endroits et au durcissement des lubrifiants dans les boites de graissage. Le roulement est par suite moins bon et les surfaces de contact, offertes au courant de retour, défectueuses. Par contre, l'économie à la station et dans les feeders atteint son maximum pendant ces mêmes périodes de grands froids; le rendement mécanique est seul altéré.

Conséquences d'un court-circuit. — Notre confrère de Londres, *The Electrician*, rapporte que le 3 mars dernier un court-circuit s'est établi accidentellement sur une génératrice à courant continu de 2 000 chevaux faisant partie du matériel de la puissante station centrale de la Union Traction Company, à Philadelphie, et a causé la destruction entière de l'usine. Les causes de cet accident sont dues, parait-il, à un pont roulant servant au montage d'une nouvelle machine et dont la chaîne pendante est venue au contact du collecteur de la génératrice en marche. Cette dernière fut aussitôt entourée de flammes, une grande quantité de métal fondu se répandit sur le parquet imprégné d'huile et ne tarda pas à prendre feu. Le personnel de l'usine dut s'enfuir sans avoir eu le temps d'arrêter les autres machines en marche. La chaleur était si intense que la conduite principale de vapeur fondit ce qui détermina une terrible explosion ébranlant l'air avec une telle violence que deux hommes furent tués et le toit de l'usine emporté.

Les pertes résultant de ce court-circuit peu ordinaire sont évaluées à 2 millions de francs.

Les canalisations de gaz et les tramways électriqeus à Brooklyn. — On sait que depuis quelque temps, la lutte est chaude entre les Compagnies des tramways électriques à trôlet et les Compagnies du gaz de New-York, et principalement de Brooklyn. Déjà sur le pont qui sépare les deux villes la destruction électrolytique des conduites de tous genres par le courant de retour des tramways a fait couler des flots d'encre et dépenser des sommes considérables d'argent en procédure. Tout récemment encore, dans les rues de Brooklyn, la recherche de fuites de gaz a amené la découverte d'une profonde dégradation des conduites tout le long des lignes parcourues par les tramways. La Compagnie du gaz en a référé immédiatement au autorités municipales, lesquelles ont nommé une commission chargée d'étudier la question. On s'attend à un gros procés intenté à la Compagnie des tramways, non seulement par la Compagnie du gaz mais aussi par plusieurs Sociétés d'éclairage électrique dont les ouvrages souterrains ont également beaucoup souffert de l'électrolyse.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XI. Samedi 17 Avril 1897. 4e Année. — N° 17.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

SUR L'OSCILLOGRAPHE A INDUCTION ABRAHAM-CARPENTIER [1]

Messieurs,

Je ne ferai pas l'historique des procédés d'enregistrement des courants variables. Je me bornerai à présenter l'appareil que vous avez devant les yeux et dont l'élégante construction est due à M. J. Carpentier.

Méthode. — Disons tout d'abord que nous choisissons comme instrument de mesure le galvanomètre à cadre mobile, plus sensible que le galvanomètre à aimants.

Les petites déviations θ de l'équipage mobile d'un galvanomètre satisfont à une équation de la forme :

$$K\frac{d^2\theta}{dt^2} + A\frac{d\theta}{dt} + C\theta = Gi, \qquad (1)$$

où figurent la force d'inertie $K\frac{d^2\theta}{dt^2}$, la force de frottement $A\frac{d\theta}{dt}$, la force directrice $C\theta$ et la force motrice Gi proportionnelle à l'intensité i du courant qui passe dans le galvanomètre.

Dans les galvanomètres enregistreurs ordinaires le courant i est précisément celui dont on veut enregistrer les variations. On cherche alors à assurer la proportionnalité entre θ et i, en s'efforçant de rendre négligeables les forces d'inertie et d'amortissement.

Je me propose d'exposer une solution plus complète du problème.

Je distinguerai i du courant I que l'on veut étudier.

D'après l'équation (1), il est certain que la déviation θ serait à chaque instant proportionnelle à ce courant I si l'on faisait en sorte que les deux courants I et i fussent liés par une équation de même forme que (1) :

$$K\frac{d^2I}{dt^2} + A\frac{dI}{dt} + CI = \lambda i, \qquad (2)$$

avec les mêmes coefficients K, A, C que précédemment.

Or, on peut arriver à ce résultat en se servant de capacités ou en faisant appel aux phénomènes d'induction.

Je n'emploie pas les capacités de crainte des charges résiduelles ; voici alors l'un des montages possibles (fig. 1) :

Le courant primitif I agit par induction sur un circuit auxiliaire où il crée une force électromotrice rigoureusement proportionnelle à $\frac{dI}{dt}$. Si ce circuit auxiliaire n'a pas d'induction propre sensible, le courant produit, I' est, lui aussi, proportionnel à $\frac{dI}{dt}$.

[1] Communication faite à la Société de physique par M. H. Abraham, dans la séance du 2 avril 1897.

Ce courant auxiliaire I' agit à son tour par induction sur le circuit du galvanomètre. Il en résulte un courant qui, encore sous réserve d'une induction propre négligeable, est, lui, proportionnel à la dérivée seconde $\frac{d^2I}{dt^2}$.

Nous avons ainsi le premier terme de l'équation (2). Il est aisé d'obtenir les deux autres. Pour introduire un terme en $\frac{dI}{dt}$ il suffit de laisser subsister une certaine induction mutuelle réglable entre le circuit du courant primitif I et le circuit du galvanomètre.

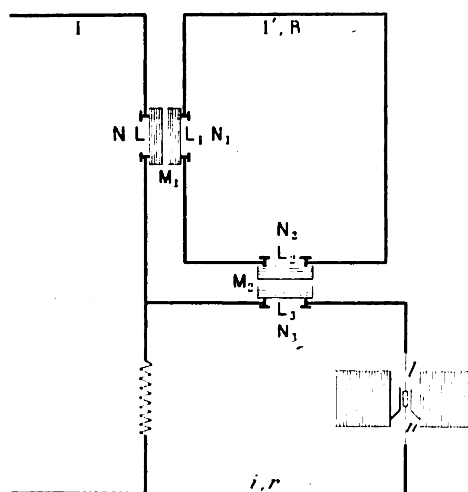


Fig. 1. — Schéma des circuits de l'oscillographe.

Quant au terme en I, on l'obtiendra en établissant une connexion directe entre ces deux mêmes circuits [1].

Dans ces conditions, pourvu que les différents termes aient des valeurs convenables, et moyennant les réserves que nous allons examiner, la déviation θ sera proportionnelle à chaque instant à l'intensité du courant I et il suffira, pour obtenir la courbe du courant [2], de combiner optiquement le mouvement du galvanomètre avec celui d'un miroir tournant.

[1] Il va sans dire qu'on pourrait aussi obtenir le terme en $\frac{dI}{dt}$ au moyen d'une connexion du circuit du galvanomètre et du circuit intermédiaire.

[2] Une modification évidente permet l'enregistrement des variations d'un flux magnétique.

Discussion [1]. — Je me contenterai, messieurs, d'appeler votre attention sur les points principaux de la discussion :

1° En premier lieu, nous supposons essentiellement que les phénomènes d'induction propre soient négligeables. Il faut pour cela que les constantes de temps $\frac{L}{R}$ des enroulements employés soient très petites. On descend aisément au-dessous du cent millième de seconde. Néanmoins, cette condition tend à limiter la rapidité des indications que l'on peut demander à l'appareil. Je me hâte de dire que l'on rendrait ces indications aussi rapides que l'on voudrait en augmentant la résistance des circuits, mais ce serait aux dépens de la sensibilité.

2° Nous ne devons pas oublier que la rotation du cadre dans le champ magnétique produit une force électromotrice induite. Mais cette force électromotrice est proportionnelle à la vitesse angulaire du cadre ; le terme qui en résulte sera donc proportionnel à $\frac{d\theta}{dt}$. Je n'ai pas à m'en préoccuper, il se joint au terme de même espèce de l'équation (1) et c'est la *somme* de ces deux termes qui correspond au terme en $\frac{dI}{dt}$ de l'équation (2) ;

3° J'observe enfin qu'il faut se mettre en garde contre la singularité qui se présente quand il peut y avoir résonance.

Reprenons nos deux équations :

$$K\frac{d^2\theta}{dt^2} + A\frac{d\theta}{dt} + C\theta = Gi \qquad (1)$$

$$K\frac{d^2I}{dt^2} + A\frac{dI}{dt} + CI = \lambda i. \qquad (2)$$

Si le galvanomètre oscillait librement, la déviation serait une fonction du temps annulant identiquement le premier membre de l'équation (1). A un moment donné supposons que, pour un certain temps, le courant I devienne une fonction du temps identique à celle dont nous venons de parler. La déviation θ ne continuera alors à représenter exactement I que si le courant i est rigoureuse-

[1] En séance, les résultats ont été donnés sans démonstrations.

ment nul. S'il n'en est pas ainsi, si petit que soit i, il y aura *résonance* et la fonction θ sera profondément altérée.

Or i ne sera pas exactement nul pour cette double raison que d'une part les valeurs relatives des termes de l'équation (2) ne seront pas *parfaitement* réglés et que, d'autre part, nous avons négligé l'induction propre des circuits qui est faible mais non pas nulle.

Il est donc de toute nécessité que les mouvements propres du cadre ne soient pas du même ordre de rapidité que les variations du courant à enregistrer. Et comme le problème intéressant est d'étudier des variations rapides, nous sommes conduits à donner au cadre mobile un mouvement propre infiniment lent. Pratiquement la durée d'oscillation doit être de l'ordre de une seconde et sensiblement apériodique.

De tout cela résulte [1] que la force d'inertie sera, dans les applications, de beaucoup supérieure aux forces d'amortissement et aux forces directrices.

En conséquence dans l'équation (2) la partie principale du premier membre sera $K \frac{d^2 I}{dt^2}$; les termes en $\frac{dI}{dt}$ et en I ne seront que des termes correctifs dont le réglage devra assurément être fait, mais sans qu'il soit nécessaire d'y apporter un soin extrême ;

4° Nous sommes maintenant en mesure de rechercher les conditions de sensibilité maxima.

Désignons par M_1, M_2 nos deux coefficients d'induction mutuelle (fig. 1); par L, L_1, L_2, L_3, l les coefficients d'induction propre des enroulements et par R et r les résistances des circuits.

Nous aurons immédiatement en négligeant toute correction :

$$i = \frac{M_1 M_2}{Rr} \frac{d^2 I}{dt^2},$$

(1) Il suffit de constater comment varient, quand ω croît, les quantités.

$$\theta = \sin \omega t, \quad \frac{d\theta}{dt} = \omega \cos \omega t; \quad \frac{d^2\theta}{dt^2} = -\omega^2 \sin \omega t.$$

avec

$$Gi = K \frac{d^2\theta}{dt^2},$$

ce qui donne

$$\theta = I \times \frac{G}{K} \times \frac{M_1 \times M_2}{R \times r}.$$

Or, les résistances R et r sont imposées par la condition que les constantes de temps soient au plus égales à une certaine limite α. On a donc

$$R = \frac{1}{\alpha}(L_1 + L_2)$$

$$r = \frac{1}{\alpha}(L_3 + l),$$

et la sensibilité est donnée par l'expression

$$\frac{\theta}{I} = \frac{1}{\alpha^2} \times \frac{G}{K} \times \frac{M_1 \times M_2}{(L_1 + L_2)(L_3 + l)}.$$

Pour un galvanomètre donné, G, K, l sont constants, mais les coefficients d'induction dépendent des enroulements extérieurs. Si les bobines qui agissent l'une sur l'autre sont très rapprochées, ces coefficients ont comme expression en fonction des nombres de tours

$$M_1 = \mu_1 N N_1 \qquad L = \mu_1 N^2$$
$$M_2 = \mu_2 N_2 N_3 \qquad L_1 = \mu_1 N_1^2$$
$$L_2 = \mu_2 N_2^2$$
$$L_3 = \mu_2 N_3^2.$$

On voit alors sans peine que *la sensibilité est maxima*, quelle que soit la forme des bobines, *quand on fait*

$$L_1 = L_2 = L_3 = l,$$

ce qui entraîne

$$R = r$$

et la sensibilité maxima est :

$$\frac{\theta}{I} = \frac{1}{4\alpha^2} \times \frac{G}{K} \sqrt{\frac{L}{l}}.$$

Maintenant, comment doit-on choisir le galvanomètre ? Si S est la surface totale de la bobine, $\mathcal{H}$ le champ magnétique, la valeur de G est $\mathcal{H}S$ et l'on a :

$$\frac{\theta}{I} = \frac{\mathcal{H}}{4\alpha^2} \times \frac{S}{K} \times \sqrt{\frac{L}{l}}.$$

On prendra donc un *champ magnétique très intense*.

On devra aussi réduire le moment d'inertie K, c'est-à-dire *faire la bobine aussi légère que possible*. Il n'y aura plus intérêt à l'alléger quand le moment d'inertie du fil de cuivre qui la constitue sera devenu égal à celui des accessoires qu'elle porte : miroir et pièces d'attache du fil de torsion, qu'on devra prendre eux-mêmes très légers.

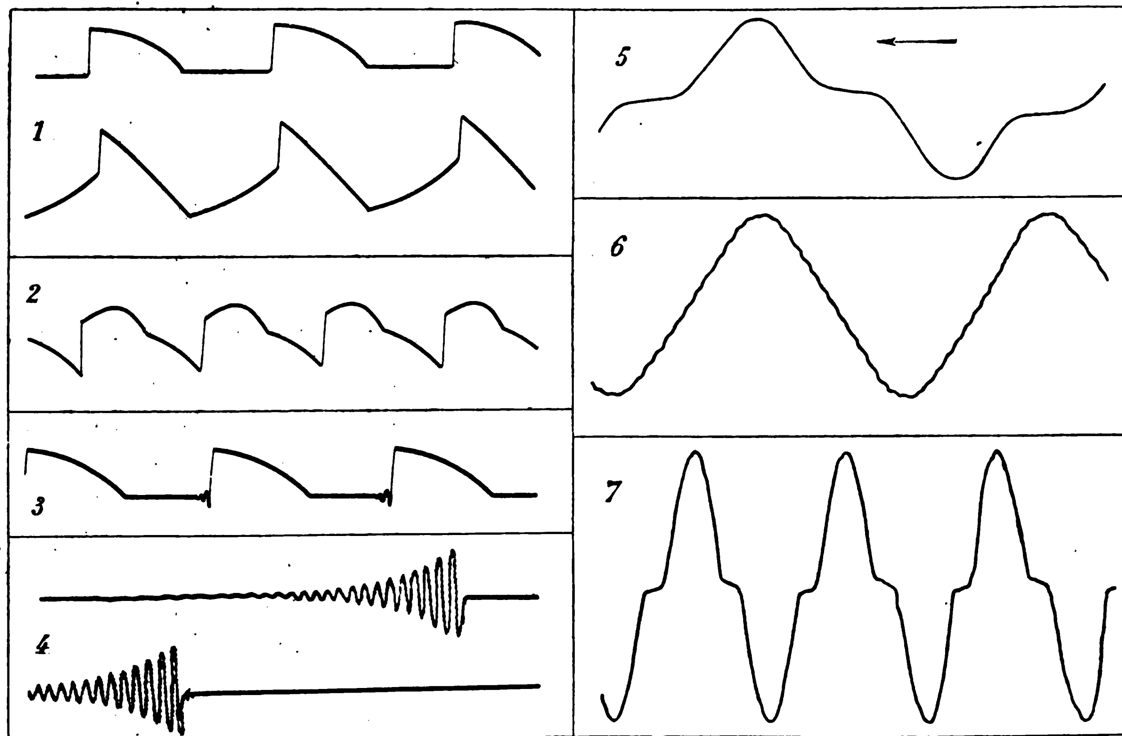


Fig. A. — Courbes fournies par l'oscillographe.

Courbes n° 1. — Réglage de l'oscillographe.

Le terme en I est exactement réglé. On enregistre le courant qui sert à l'entretien d'un diapason à 100 périodes par seconde. Le terme en $\frac{dI}{dt}$, d'abord un peu trop faible est ensuite sensiblement trop fort.

N° 2. — Diapason à 100 périodes. Erreurs de signe sur le terme en $\frac{d^2I}{dt^2}$.

N° 3. — Diapason à 100 périodes.

Une forte capacité en dérivation. — Étincelle oscillante. — Le galvanomètre enregistre des variations extrêmement rapides.

N° 4. — Deux fois la décharge oscillante d'un microfarad. Période 0,0011 seconde.

Montage : dans l'un des fils d'un enroulement double on interrompt périodiquement un courant permanent (un condensateur de faible capacité en dérivation sur l'étincelle de rupture). — Le second fil aboutit aux deux armatures du microfarad par l'intermédiaire de l'oscillographe. — Après l'extinction du courant primaire les oscillations du secondaire sont très régulières (1).

N° 5. — Déformation produite sur un courant sinusoïdal par la présence d'un enroulement sur armature en tôles de fer.

Arrêt presque complet du courant pendant la saturation progressive du fer. — L'aimantation ne se produit qu'après le changement de sens du courant (hystérésis).

N° 6. — Courant alternatif à 60 périodes (machine à 4 pôles).

On compte le passage des touches du collecteur (il y des étincellles aux balais).

N° 7. — Courant produit par la machine précédente actionnant un arc électrique.

Arrêt prolongé du courant lors de son changement de sens.

On peut donc considérer le dénominateur K comme fixé. La sensibilité ne dépend plus alors que de $\frac{S}{\sqrt{l}}$. Elle sera d'autant plus grande que la bobine sera plus allongée, mais elle est *indépendante du mode d'enroulement* de la bobine.

Nous avons adopté une bobine ayant un petit nombre de tours de fil pour faciliter la construction et aussi pour ne pas laisser trop d'importance au terme d'amortissement.

(1) Mise au point imparfaite, le point lumineux est élargi.

En résumé [1], le maximum de sensibilité est obtenu quand on réalise les conditions suivantes :

1° Les résistances des deux circuits sont égales ;

2° Les coefficients d'induction propre des enroulements sont égaux à celui de la bobine mobile ;

3° Le champ magnétique est aussi grand que possible ;

4° La bobine est *allongée* et son moment d'inertie est égal à celui du miroir.

Réalisation pratique de l'oscillographe. — La *première partie* de l'appareil, la plus délicate, c'est le galvanomètre.

Le champ est créé par un électro-aimant. Le cadre mobile n'a que quelques millimètres de large, il est tout entier recouvert par le miroir et occupe presque tout l'entrefer.

Il faut éviter les mouvements transversaux et les mouvements de bascule du cadre. On réduit la tendance aux trépidations irrégulières en équilibrant avec soin la bobine : et ces mouvements sont rendus impossibles par l'emploi de deux petits coussins sur lesquels le fil de torsion s'appuie légèrement.

La *seconde partie* de l'appareil est formée par les circuits accessoires. Ils sont rassemblés sur une planchette indépendante et comprennent : 1° la bobine plate où passe le courant I ; 2° la bobine induite du circuit auxiliaire ; 3° sur un même cadre, le circuit inducteur auxiliaire et l'enroulement induit qui sera relié au galvanomètre : cette bobine double est mobile pour le réglage du terme en $\frac{dI}{dt}$; 4° le rhéostat à curseur servant à régler le terme en I.

Une *troisième partie* est nécessaire, c'est le dispositif d'enregistrement. Un point lumineux (arc électrique diaphragmé) émet un faisceau horizontal de rayons. Ceux-ci tombent sur un miroir plan vertical M qui, les faisant tourner d'un angle droit, les envoie sur le miroir concave du galvanomètre et les reprend ensuite pour les diriger vers une plaque photographique P où se peint l'image du point lumineux.

Le miroir M peut tourner autour d'un axe horizontal et, comme le galvanomètre a son axe de rotation vertical, la combinaison des deux mouvements fournit la courbe du courant.

La plaque sensible est au fond d'une chambre noire photographique sans objectif. Elle est protégée par un système de trois écrans noirs et cela permet d'opérer en plein jour.

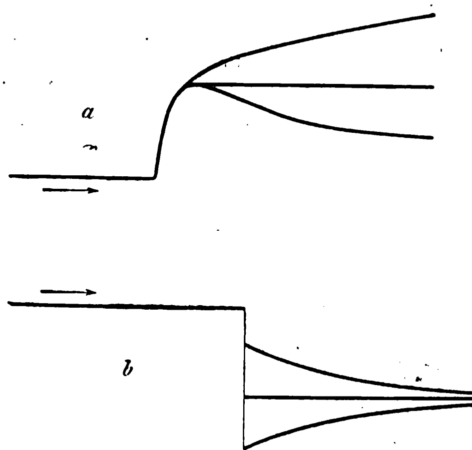


Fig. 2.

a, établissement du courant permanent ; le terme en I est trop grand pour la courbe supérieure, puis juste, enfin trop faible. — *b*, rupture du courant avec un terme en $\frac{dI}{dt}$ successivement trop grand, exactement réglé et trop faible.

Pour des expériences de précision, le miroir M est porté par un petit pendule [1]. On n'utilise le miroir qu'au moment où sa vitesse angulaire passant au voisinage d'un maximum est en réalité très exactement constante.

Réglage de l'oscillographe. — Il ne saurait être question d'effectuer ce réglage par un calcul *a priori*. On le fait expérimentale-

---

[1] On montrerait encore qu'il n'y a rien à craindre des capacités des bobines très petites que l'on emploie non plus que de l'influence des courants induits sur les courants inducteurs.

[1] Dans le cas où il s'agit de montrer les phénomènes à un auditoire on se sert d'une couronne de miroirs en rotation continue.

ment en s'aidant des différentes formes que peuvent avoir les courbes d'établissement ou de rupture d'un courant permanent, et dont voici la représentation schématique (fig. 2).

Pour terminer, messieurs, il me reste à vous présenter des courbes (fig. A) fournies par l'oscillographe correspondant d'abord au réglage de l'appareil, puis à différentes applications de la méthode oscillographique [1]. J'attirerai votre attention sur le cliché (fig. 5) où l'on voit le galvanomètre suivre exactement des variations extrêmement rapides du courant.

H. Abraham,
Professeur agrégé de l'Université, Docteur ès sciences.

(1) Nous reproduisons par la gravure un décalque des clichés qui ont été projetés en séance.

LES NOUVELLES

LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES HEILMANN

On se rappelle quel bruit fit, au mois de février 1894, l'apparition sur la voie ferrée du Havre, de la première locomotive électrique Heilmann, baptisée « la Fusée électrique » dont nous reproduisons ci-contre (fig. 1), la vue d'ensemble, l'abri étant enlevé pour laisser voir les organes de la machine.

Il avait fallu en effet une certaine hardiesse pour mettre à exécution une machine de 600 chevaux basée sur un principe entièrement nouveau : placer sur la locomotive même, à côté des moteurs électriques, une petite usine génératrice ambulante comprenant chaudière, machine à vapeur et dynamo.

Les prophètes de malheur n'avaient pas manqué qui, se basant sur un insuccès antérieur, prédisaient que ce mastodonte pourrait à peine marcher seul et serait incapable de remorquer à grande vitesse le plus petit train de voyageurs. Après les essais du Havre à Beuzeville que nous avons fait connaître en détail [1] et qui montrèrent que la machine Heilmann pouvait remorquer un train de même composition que le rapide du Havre à des vitesses égales et même supérieures à celle de la locomotive ordinaire, les critiques changèrent de face. « Cette machine électrique peut remorquer des trains à grande vitesse, c'est vrai, dirent certains détracteurs à outrance, mais à quel prix ! On brûle peut-être bien dans la chaudière le double de ce qu'on dépenserait avec une locomotive à vapeur. La machine Heilmann ne présentera *jamais* d'intérêt pratique parce qu'elle aura toujours une dépense de combustible exagérée comparée à celle d'une locomotive à vapeur, à cause de son poids énorme et de la perte que subit le travail mécanique produit par les cylindres à vapeur, en passant par la génératrice et par les réceptrices électriques. »

En revanche, la locomotive électrique fut encensée par de nombreux partisans qui proclamèrent qu'elle donnait des résultats merveilleux et devait à bref délai supplanter l'antique et surannée locomotive à vapeur.

Les deux clans extrêmes tombaient visiblement tous deux dans l'exagération. Qu'avons-nous dit à ce moment ? que les expériences du Havre avaient prouvé la grande supériorité aux grandes vitesse de la traction électrique sur la traction à vapeur au point de vue de la douceur du roulement et de la stabilité de la machine, ce qui constituait déjà un résultat très important, mais que la machine Heilmann ne pourrait faire une concurrence sérieuse à la machine à vapeur que si elle pouvait remorquer les trains avec une dépense de traction à peu près égale. Nous avons ajouté que la locomotive Heilman avait l'inconvénient d'être beaucoup plus lourde qu'une locomotive à vapeur de même puissance et que l'expérience seule indiquerait si, malgré son excès de poids et la double trans-

(1) Voir *La Lumière Électrique*, 24 février et 10 mars 1894, t. LI, p. 360 et 470.

formation qu'elle exige, elle pourrait donner, comme le prétendait l'inventeur, grâce à une meilleure utilisation de l'énergie, un rendement final supérieur à celui d'une machine ordinaire.

Sans être renseignés complètement nous possédons déjà maintenant quelques données approximative sur la valeur pratique du système Heilmann, communiquées par la Compagnie de l'Ouest au Congrès des chemins de fer de Londres en 1895. La machine qui avait servi aux expériences du Havre, en février 1894, a été ramenée à Paris et a été ensuite soumise à de nouveaux essais entre Paris et Mantes, du 25 avril au 9 mai 1894. Dans le parcours de 26 km entre le Havre et Beuzeville, où le profil est très dur et

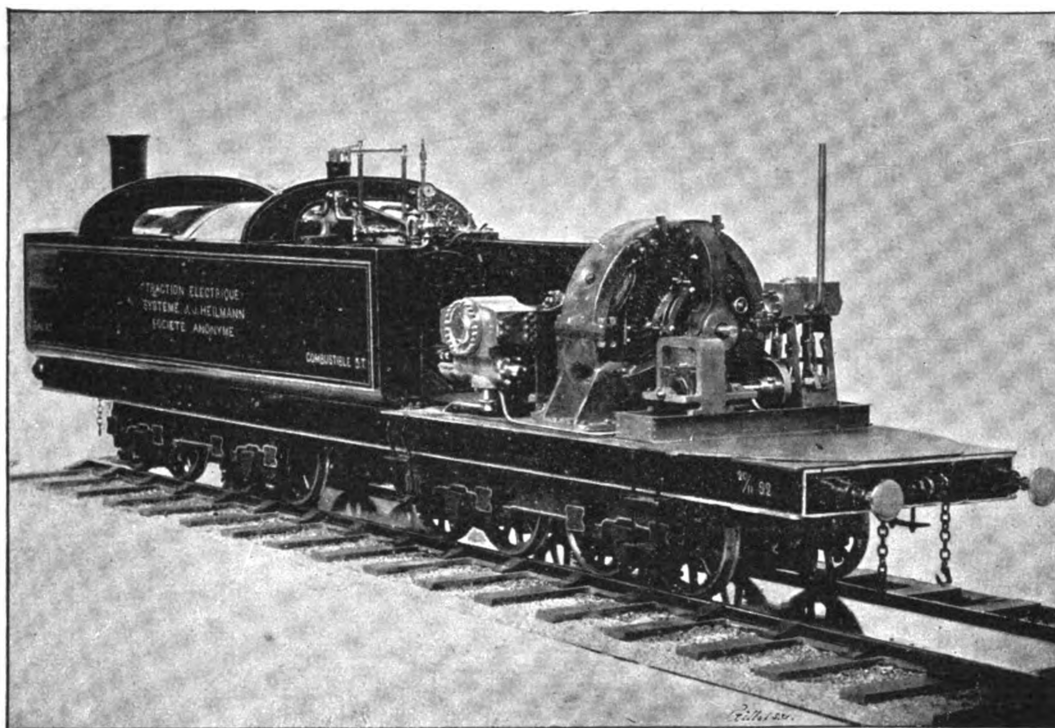


Fig. 1. — La « Fusée électrique » : locomotive d'essai, système J.-J. Heilmann (L'abri est enlevé pour laisser voir la machinerie).

comporte une rampe de 8 mm s'étendant sur 12 km de longueur, la machine Heilman avait fonctionné dans des conditions à peu près semblables à celles du rapide du Havre, c'est-à-dire remorqué à la vitesse moyenne commerciale de 59 km à l'heure un train de 5 voitures. Sur le trajet de Paris-Mantes, de 58 km de longueur, dont la rampe la plus forte est de 6,5 mm sur 6 km et dont le profil assez facile est à peu près symétrique à l'aller et au retour, on a attelé la locomotive électrique à des trains plus longs, composés de 7 à 8 voitures, et atteignant des vitesses commerciales plus élevées, de 70 à 75 km. On lui a fait faire notamment deux fois de Mantes à Paris le service régulier d'un train express de Caen. Voici le résumé de quelques voyages effectués pendant cette période d'essais :

7 *mai* 1894. — Mantes à Paris, train d'expérience, 8 voitures ; poids remorqué, 61 tonnes ; vitesse maxima, 90 km ; vitesse moyenne, 68,5 km.

8 *mai* 1894. — Train express n° 54 de Caen à Paris, 7 voitures; poids remorqué, 63

tonnes ; vitesse maxima 105 km ; vitesse moyenne, 78,6 km.

9 *mai* 1894. — Paris à Mantes, train d'expérience, 7 voitures ; poids remorqué 70 tonnes ; vitesse maxima, 108 km ; vitesse moyenne, 76,5 km.

9 *mai* 1894. — Train express n° 54, de Caen à Paris, remorqué en service régulier de Mantes à Paris, 7 voitures; poids remorqué : 70 tonnes. Vitesse maxima, 98 km. Vitesse moyenne, 70 km. Ralentissement à partir d'Argenteuil, par suite de disques fermés.

« Dans tous ces essais, dit M. Mazen, inspecteur de la Compagnie de l'Ouest, dans son rapport officiel au Congrès de Londres, la locomotive s'est bien comportée; le service a été assuré sans aucune avarie et pendant un parcours total de 1 900 km on n'a jamais eu besoin de la machine de secours.

« Tous les trains ont été remorqués dans de bonnes conditions et aucun retard n'a eu lieu du fait de la locomotive.

« La machine présente à toutes les vitesses, une stabilité satisfaisante et comparable à celle d'une voiture à boggies; la suspension est douce et pendant les divers parcours, on a constaté qu'il ne se produisait aucun mouvement soit de lacet soit de galop; les entrées en courbe se font facilement et jusqu'à la vitesse de 108 km, qui a été atteinte à diverses reprises pendant les essais, les seules oscillations remarquées proviennent exclusivement des légères dénivellations de la voie. »

Avant d'examiner les résultats obtenus par l'essai de la première Fusée et ceux que pourront donner les nouvelles locomotives Heilmann, il nous paraît utile d'indiquer une fois pour toutes les désignations qu'il nous paraît *rationnel* d'appliquer aux divers facteurs que l'on rencontre dans l'étude de la traction électrique, car nous avons constaté dans certains travaux antérieurs une fâcheuse confusion ou ambiguïté de termes qui, si elle s'étendait, rendrait bientôt illisibles toutes les études de traction.

P_{tot} étant la *puissance totale* de la locomotive indiquée aux cylindres, une partie p_t de cette puissance est dépensée dans la *transmission* plus ou moins compliquée du mouvement du cylindre aux roues, ou l'on ne recueille qu'une *puissance aux jantes* p_j. On a donc :

$$p_j = P_{tot} - p_t.$$

Le rapport

$$\frac{p_j}{P_{tot}} = K_t, \qquad (1)$$

représente le *rendement de la transmission*, c'est-à-dire le rendement de la locomotive considérée comme appareil *moteur*.

Vient ensuite la *puissance de remorque* p_v dépensée pour faire avancer le *véhicule* locomotive seul sur la voie. Si l'on retranche cette puissance de remorque de la puissance aux jantes p_j, on obtient la puissance P disponible au crochet de traction qui constitue réellement la *puissance de traction* de la locomotive, et l'on a :

$$P = p_j - p_v = P_{tot} - p_t - p_v = P_{tot} - p_l.$$

$$p_l = P_{tot} - P = p_t + p_v. \qquad (2)$$

La différence p_l entre la puissance totale P_{tot} indiquée aux cylindres et la puissance P disponible au crochet de traction, représente la *perte de la locomotive* considérée à la fois comme appareil moteur et comme appareil de remorque.

On doit donc appeler *rendement total de la locomotive* le rapport K entre la puissance de traction P et la puissance totale P^{tot} indiquée au cylindre :

$$K = \frac{P}{P_{tot}}. \qquad (3)$$

Le rapport K_v entre la puissance de traction P et la puissance aux jantes p_j forme le rendement de la locomotive, considérée simplement comme *véhicule remorqué*, ou *rendement de remorque*.

$$K_v = \frac{P}{p_j}. \qquad (4)$$

On déduit de (1), (3) et (4) que

$$K = K_t \times K_v, \qquad (5)$$

c'est-à-dire que le rendement total de la locomotive est égal au produit du rendement de transmission par le rendement de remorque.

La puissance de remorque, et par suite le rendement de remorque, ne sont pas même des facteurs simples, car ils varient suivant que l'on marche en palier ou sur une voie inclinée. La puissance de remorque se divise en 2 parties : la *perte au roulement* p_r nécessaire pour remorquer la locomotive-véhicule en palier, c'est-à-dire, pour la faire réellement *rouler*, et la *puissance dûe à la gravité* p_i, nécessaire pour élever ou abaisser le poids de la locomotive-véhicule sur une partie *inclinée*, et qui se retranche ou s'ajoute à la première.

$$p_v = p_r \pm p_i. \qquad (6)$$

Ces définitions étant bien posées, il nous est facile de comparer la locomotive électrique à la locomotive à vapeur. Au point de vue pratique le point intéressant à considérer est d'obtenir à la barre de traction une puissance de traction P supérieure à celle d'une locomotive à vapeur avec une consommation de charbon à peu près égale à celle de la locomotive à vapeur, c'est-à-dire avec un *rendement total* de la locomotive à peu près égal, (en considérant tout d'abord le rendement de la chaudière qui est du même type comme le même dans les deux cas). Personne ne conteste qu'il soit possible d'obtenir avec une la locomotive électrique de dimensions suffisantes une puissance de traction aussi forte qu'on le désire, mais où l'on n'est plus d'accord c'est sur la question du rendement total.

Le sujet est trop complexe pour qu'on puisse l'élucider autrement que par l'expérience directe et l'on a eu tort, à notre avis, de se lancer dans des discussions touffues sur les valeurs absolues des diverses pertes de rendement de la nouvelle locomotive Heilmann, discussions basées uniquement sur les nombres probables, indiqués fort innocemment, dans le but de satisfaire la curiosité des ingénieurs, par la Société Heilmann qui aurait agi plus sagement en ne rien disant. Tout ce qu'on peut faire pour l'instant, faute de mieux, c'est d'examiner, sans faire intervenir aucun chiffre, la manière dont peuvent varier les divers facteurs qui composent le rendement total.

Dans la locomotive à vapeur le rendement de la transmission K_t n'est autre chose que le rendement organique du moteur à vapeur, tandis que dans la locomotive électrique il dépend de trois rendements partiels : il est égal au produit du rendement k_g de la machine à vapeur génératrice, du rendement k_d de la dynamo génératrice et du rendement k_m des moteurs électriques :

$$K_t = k_g \times k_d \times k_m.$$

Malgré le grand nombre d'intermédiaires existant entre l'arrivée de vapeur et la jante des roues, la Société Heilmann prétend que le rendement de la transmission, dans la locomotive électrique, si l'on considère le chiffre moyen résultant d'un assez grand nombre de parcours variés, est au moins égal sinon supérieur à celui de la locomotive à vapeur. Cette affirmation, quoique paraissant curieuse à première vue, n'a rien d'invraisemblable si l'on considère que la génératrice et les réceptrices électriques ont des rendements k_d et k_m toujours très élevés à toutes les vitesses pourvu que l'on s'éloigne peu du maximum de charge, ce qui est le cas présent. Il est donc assez facile de regagner la perte dans les machines électriques si l'on peut obtenir un meilleur rendement moyen k_g du moteur à vapeur.

La Société Heilmann espère arriver à ce résultat grâce à l'indépendance du matériel générateur. En effet dans une machine à vapeur les manivelles étant toujours reliées aux roues, les moteurs à vapeur marchent constamment à des vitesses variables suivant le profil, ce qui oblige à faire varier fréquemment l'admission et la détente. Il en résulte que les machines à vapeur travaillent souvent

pendant une grande partie du temps à des régimes défavorables qui abaissent le rendement moyen.

Dans la locomotive électrique au contraire la machine à vapeur génératrice n'ayant aucune liaison mécanique avec les roues motrices, on peut lui faire donner un couple constant en laissant seulement sa vitesse croître proportionnellement à la puissance demandée, c'est-à-dire qu'on peut la faire travailler toujours avec une admission constante correspondant au rendement maximum.

Si la supériorité de la locomotive électrique sur la locomotive à vapeur demande à être soigneusement vérifiée au point de vue du rendement K_t de la transmission, elle paraît beaucoup plus certaine au point de vue du rendement de remorque K_v.

La *puissance p_i due à la gravité* qui peut être exprimée d'une façon suffisamment approchée par le produit $p_i = \pm VM\gamma$ de la vitesse V, de la masse M, et du rapport d'inclinaison γ en mètre de pente par mètre de longueur [1], dont un seul, la masse M varie suivant le système de traction. La locomotive électrique étant toujours plus lourde que la locomotive à vapeur, dépensera davantage pour gravir les rampes, mais cet cinonvénient se trouvera à peu près contre-balancé dans un parcours un peu étendu par la puissance moindre dépensée à la descente des pentes.

Quant à la perte au roulement qui constitue l'autre facteur de la puissance de remorque, elle est franchement inférieure dans la locomotive électrique. La puissance dépensée pour faire simplement *rouler* le véhicule locomotive est en effet proportionnelle à la vitesse de marche V, à la masse M, et à un coefficient ρ que l'on appelle quelquefois effort de traction par tonne et qui constitue, à probablement parler, la ***résistance au roulement***, exprimée généralement en kilogrammes par tonne.

On a :

$$p_r = VM\rho.$$

C'est à cette quantité ρ, déduite simplement de la puissance de remorque et qui sert de base fondamentale à tous les calculs de traction que l'on doit, à notre avis, réserver exclusivement le nom de résistance au roulement. C'est créer, par exemple une confusion regrettable que de désigner par le terme vague de résistance, comme l'a fait M. du Bousquet, une force $\frac{p_l}{MV}$ (dont on fait d'ailleurs rarement mention dans les calculs), déduite de la puissance absorbée p_l (voir formule 2) par la locomotive considérée à la fois comme moteur et comme appareil remorqué.

La Compagnie de l'Ouest cite dans son rapport la valeur de la résistance au roulement à la vitesse de 62,5 km, d'une locomotive électrique et d'une locomotive à vapeur, le dernier chiffre étant environ le double du premier. Nous ne reproduirons pas ces deux chiffres parce qu'ils ne suffisent pas pour établir une comparaison exacte entre les deux genres de locomotives et par suite n'ont pas grand intérêt. En effet, les expérienees de résistance au roulement ont été faites avec le régulateur de la machine à vapeur *fermé*. Or, contrairement à ce qu'on aurait pu croire au premier abord, les deux machines se sont trouvées, de ce fait, dans des conditions différentes, et défavorables à la locomotive à vapeur, ainsi que l'a fait remarquer fort justement M. du Bousquet à la Société des Ingénieurs civils [1]. La résistance au roulement de la locomotive électrique ne varie pas beaucoup, que le régulateur soit ouvert ou fermé, tandis que pour une locomotive à vapeur, elle est précisément beaucoup plus forte à régulateur fermé qu'à régulateur ou-

---

[1] La formule exacte est

$$p_l = \pm VM \sin \alpha$$

α étant l'angle d'inclinaison. Cet angle α étant toujours extrêmement petit, sauf dans les chemins de fer à crémaillère, on peut remplacer sin α par tang α, qui se confond elle-même avec le rapport d'inclinaison γ.

[1] *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, février 1897, p. 187.

vert. La locomotive électrique, lorsqu'elle se trouve sur une pente assez forte et que l'on peut fermer le régulateur, c'est-à-dire arrêter l'admission de vapeur au moteur, continue à rouler, tandis que les pistons et tous les organes de la machine peuvent rester au repos, puisqu'il n'existe aucune liaison mécanique entre eux ; la locomotive électrique n'oppose dans ce cas pas plus de résistance au roulement que dans la marche en palier. Avec la locomotive à vapeur, au contraire, on peut bien, dans les fortes pentes, fermer le régulateur et arrêter l'admission de vapeur aux cylindres, mais il est impossible de débrayer les manivelles des roues. Les pistons suivant le mouvement des roues produisent dans les cylindres, où ne pénètre plus la vapeur, un vide partiel ou contre-pression agissant comme frein sur les roues. La résistance supplémentaire opposée ainsi au roulement de la locomotive est loin d'être négligeable, car M. du Bousquet a calculé qu'avec une contre-pression de seulement 0,5 kg elle atteignait 4,3 kg par tonne, c'est-à-dire quelque chose comme 1/3 de la résistance totale au roulement en pente de la locomotive. Si l'on veut véritablement comparer la locomotive électrique à la locomotive à vapeur, il est donc juste de considérer le cas le plus général de la marche à régulateur ouvert, où la locomotive à vapeur n'est plus soumise à un effet parasite accessoire.

Quoique aucune expérience n'ait été faite dans ces conditions, il est presque évident, *a priori*, que là encore l'avantage reste à la locomotive électrique. Celle-ci, dont les moteurs n'ont aucun moment de va-et-vient et produisent un couple absolument constant pendant un tour de roue, quelle que soit la vitesse de marche, ne donne lieu à aucune réaction nuisible et il n'y a pas de raison pour qu'elle offre une résistance au roulement sensiblement supérieure à celle d'un véhicule non moteur, voiture ou wagon de chemin de fer. La locomotive à vapeur, au contraire, c'est un fait bien connu, présente, surtout aux grandes vitesses, une résistance au roulement notablement supérieure à celle des voitures du train. Cet excès de résistance provient des réactions nuisibles qui prennent naissance dans les organes moteurs reliés à la roue, par suite de la valeur très variable du couple mécanique pendant les diverses périodes d'une révolution et à des à-coups continuels auxquels ils sont soumis. Les expériences qui seront faites sur les nouvelles locomotives Heilmann nous indiqueront si la supériorité de la locomotive électrique sur la locomotive à vapeur au point de vue de la résistance au roulement *proprement dite* est importante ou peu sensible ; il nous suffit de constater pour l'instant qu'elle existe toujours, quel que soit le profil : en rampe, en palier et surtout en pente. Il se peut donc très bien, surtout si l'on considère un parcours un peu long, que la locomotive électrique, malgré son poids plus élevé M, soit remorquée avec une perte de roulement p_r inférieure à celle de la locomotive à vapeur, si la résistance au roulement de celle-ci est beaucoup plus élevée. La puissance p_i due à la gravité étant en moyenne à peu près la même pour les deux systèmes, il est donc permis de prévoir d'après (6) et (4), que la locomotive électrique pourra avoir un rendement de remorque K_v supérieur à celui de la locomotive à vapeur. Il en résulte qu'il n'y a rien d'impossible à ce que la locomotive électrique produise, d'après (5), un *rendement total* K, *voisin* en deçà ou en delà, de celui d'une locomotive à vapeur, quand bien même le rendement K_t de la transmission entre les cylindres et les jantes des roues serait plus faible, puisque le rendement total de la locomotive dépend à la fois du rendement de la transmission K_t et du rendement de la remorque K_v.

L'expérience directe, répétons-le une fois de plus, donnera seule la *mesure exacte* des résultats simplement prévus qualitativement par ces considérations théoriques. Ce sera le but des essais qui vont être entrepris avec les deux nouvelles locomotives Heilmann.

On ne peut en effet tirer aucune valeur

pratique moyenne des chiffres de consommation de charbon indiqués par la Compagnie de l'Ouest dans son rapport et relevés pendant les essais de la première locomotive Heilmann au Havre et à Mantes. La Compagnie a eu soin de faire remarquer prudemment que les expériences ont eu lieu « sur un parcours trop peu étendu et peu favorable à des essais, par suite de la nature du profil » et d'autre part, n'a pas donné les chiffres de consommation d'une locomotive à vapeur fonctionnant dans les mêmes conditions. Nous estimons qu'il n'y a pas, dans ces conditions, grand intérêt à reproduire les tableaux de consommation donnés par l'Ouest. A défaut de chiffres, nous nous contenterons de signaler le seul fait qui s'en dégage bien nettement de l'ensemble de ces tableaux ; c'est que la consommation de charbon, c'est-à-dire au rendement de la chaudière près, le *rendement total* de la première locomotive électrique d'essai système Heilmann, a été tout à fait *comparables* à ceux d'une locomotive à vapeur faisant un service analogue.

Voilà qui fait bien augurer des nouvelles locomotives Heilmann, dans lesquelles on a réalisé entre autres perfectionnements un grand progrès, au point de vue du poids brut du véhicule. La « Fusée électrique » ne pouvait développer, comme puissance mécanique génératrice, que 600 chevaux normalement et 700 chevaux au maximum et pesait, sans compter l'approvisionnement d'eau et de charbon, 100 tonnes. Les deux nouvelles machines Heilmann pèseront 115 tonnes environ et sont construites pour pouvoir développer une puissance mécanique génératrice de 1350 chevaux. Cet allégement considérable a été obtenu par une construction mieux étudiée des divers organes mécaniques et surtout de la chaudière, dans lesquels on avait fait entrer, par mesure de prudence, lors de la construction de la première locomotive, des quantités de matière souvent exagérées.

Ce qui caractérise les nouvelles machines Heilmann et les différencie de la première locomotive électrique, c'est la disposition de la machine à vapeur, qui a été complètement changée. En 1894, nous avons nettement signalé le seul défaut grave de construction que présentait la « Fusée électrique ». Nous avons indiqué que la machine à vapeur, avait une puissance trop faible, qu'il était absolument impossible de dépasser à cause de la position des cylindres placés horizontalement dans le sens transversal de la voie. On se rappelle que cette disposition avait été adoptée parce qu'on pouvait ainsi réaliser très simplement un moteur très bien équilibré avec 2 cylindres disposés symétriquement par rapport à l'axe de la voie.

La puissance de la machine à vapeur, qui devait forcément, dans les nouvelles locomotives, être de beaucoup supérieure à celle de la Fusée, ne pouvant être augmentée si l'on persistait à employer des cylindres horizontaux, M. Heilman a été amené à adopter une machine *verticale*. Cette disposition permet de donner aux cylindres des dimensions aussi fortes qu'on le désire, mais, par contre, elle exige un équilibrage rigoureusement exact parce que les effets d'inertie se produisant normalement au châssis produiraient des perturbations considérables si on les laissait se manifester même partiellement. Une machine horizontale, au contraire, n'a pas besoin d'être équilibrée avec la même précision parce que les effets d'inertie se produisant alors parallèlement au châssis ne sont pas très nuisibles.

Or l'équilibrage parfait d'une machine-pilon n'est pas chose aisée. L'équilibrage approché des machines verticales a déjà été réalisé il n'y a pas mal de temps dans les machines marines Normand par l'emploi de trois manivelles calées $m_1\, m_2\, m_3$ (fig. 2) à 120° sur l'axe principal R S du moteur. Toutefois ce procédé laisse encore subsister un couple appréciable que l'on peut supprimer, comme l'ont indiqué M. Robinson et le capitaine Sankey à « l'Institution of Naval Architects » en avril 1895, en plaçant symétriquement au premier groupe de trois cylindres

P_1 P_2 P_3, (par rapport au plan XY perpendiculaire à l'axe) un autre groupe de trois cylindres dont les manivelles $n_3 n_2 n_1$ seront également calées à 120° sur l'axe RS. On arrive ainsi à annuler complètement tous les efforts horizontaux, mais il subsiste malgré tout un léger effort vertical. Néanmoins l'équilibrage peut être considéré comme pratiquement parfait, car l'effort parasite restant n'atteint au maximum que 0,025 p. 100 de la force d'inertie d'un seul attirail de cylindre.

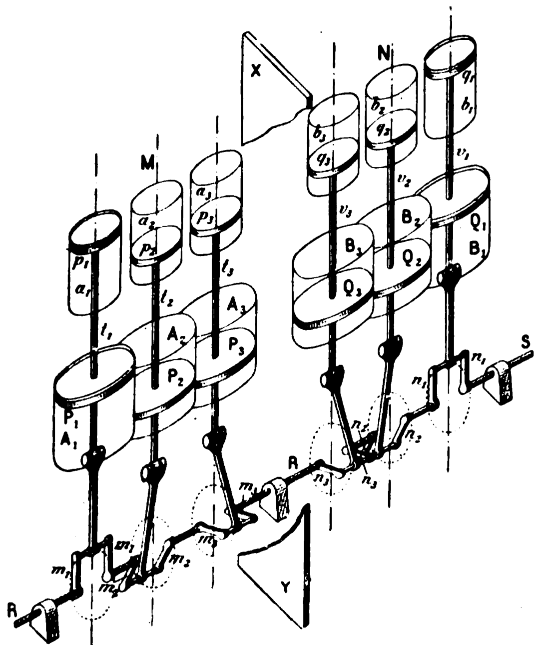


Fig. 2.

C'est cette disposition qui a été adoptée, pour les locomotives Heilmann, par les constructeurs des machines à vapeur, MM. Willians et Robinson et qui d'ailleurs avait été proposée également par M. Mazen, inspecteur de l'Ouest.

Comme on a conservé le principe du compoundage afin d'obtenir un rendement élevé du moteur, on est arrivé à construire une machine à 12 cylindres, représentée schématiquement sur la figure 2. Cette machine se compose en réalité de deux groupes semblables M et N, accouplés bout à bout sur le même arbre RS et placés symétriquement par rapport au plan XY, perpendiculaire à l'axe RS. Chaque groupe comprend 3 éléments formés chacun d'un cylindre à haute pression p et d'un cylindre à basse pression P, accouplés en tandem sur une même tige de piston t reliée à l'axe RS par une bielle et une manivelle. Les trois manivelles m_1, m_2, m_3 du groupe M sont calées à 0, 120 et 240° et les 3 manivelles suivantes du groupe N à 240, 120 et 0°. L'examen de la figure 2 montre que les 2 éléments voisins situés au milieu de la machine et appartenant à deux groupes différents ont tous leurs organes pistons, $P_3 p_3$ et $Q_3 q_3$, manivelles m_3 et n_3, exactement dans la même position. On pourrait donc remplaçer les 2 éléments par un seul dont toutes les pièces mobiles : piston du cylindre à haute pression, piston du cylindre à basse pression, bielle et manivelle auraient un poids double, ce qui réduirait la machine à 5 éléments, c'est-à-dire 10 cylindres et 5 manivelles. Cette disposition, proposée par M. Robinson, n'a pas été adoptée parce que la difficulté d'obtenir des pièces ayant exactement un poids double de toutes les autres, rend la simplification plus apparente que réelle et détruit l'interchangeabilité des pièces constitutives de la machine.

Le moteur de la nouvelle locomotive Heilmann est, on le voit, beaucoup plus compliqué que celui de la première Fusée, mais ce n'est pas un inconvénient dont il faille beaucoup s'effrayer. Les locomotives compound à quatre cylindres à voyageurs du Nord et du Midi et à marchandises de l'Est, dont les organes sont beaucoup plus disséminés fonctionnent très régulièrement ; il est probable qu'il en sera de même de la machine à douze cylindres dont toutes les pièces sont rassemblées dans un petit espace et faciles à surveiller.

Ayant exposé les particularités typiques des nouvelles locomotives Heilmann, nous en ferons la description dans un prochain article. Mais nous attendrons pour cela que la première machine, qui est à peu près terminée en ce moment, soit sortie des ateliers Cail et que nous ayons pu l'examiner *de visu*.

Ch. Jacquin.

QUELQUES APPLICATIONS NOUVELLES DES OSCILLOGRAPHES

Les oscillographes que j'ai décrits en 1893 peuvent permettre suivant leur construction de mesurer les variations soit d'une intensité de courant, soit d'une différence de potentiel; ils peuvent également trouver une application intéressante pour l'étude des variations rapides de la résistance d'un conducteur.

1° Si le conducteur est traversé par un courant, il suffit d'employer deux oscillographes, l'un servant d'ampèremètre traversé par ce courant, l'autre servant de voltmètre placé en dérivation aux bornes de la résistance considérée. En inscrivant simultanément les déviations des deux appareils sur un tambour tournant à vitesse constante recouvert d'un papier au gélatino-bromure, comme je l'ai indiqué précédemment, on obtient deux courbes donnant I et V en fonction des temps, il suffit de tracer une troisième courbe ayant pour ordonnées le rapport des ordonnées des deux autres.

2° Dans certains cas, il peut être plus intéressant de rapporter les variations de résistances non pas au temps, mais au courant lui-même. Il suffit alors de placer les deux oscillographes à angle droit en munissant l'un d'un miroir convergent à axe vertical, l'autre d'un miroir plan allongé à axe horizontal en ayant soin que le faisceau réfléchi par le premier subisse une seconde réflexion sur le second : dans ces conditions, l'image finale reçue sur une surface photographique plane et fixe y décrit une courbe en coordonnées rectangulaires qui représente les variations de la différence de potentiel en fonction du courant; le coefficient angulaire d'une droite menée par l'origine, définit la résistance en chaque point de la courbe.

3° Lorsqu'il s'agit d'un phénomène à variations lentes, les oscillographes peuvent être remplacés par de simples galvanomètres Deprez-Carpentier pour lesquels on obtient facilement une période d'oscillation propre de 1/50 de seconde. Cette méthode peut permettre aussi de tracer et très rapidement les caractéristiques en circuit ouvert ou en circuit fermé des machines dynamos à courant continu directement sous forme d'une courbe; il suffit d'employer un rhéostat liquide dont on peut varier la résistance à la main lentement et progressivement.

4° La même méthode peut permettre de tracer aussi directement les courbes d'hystérésis des échantillons de fer doux. Il suffit de constituer une petite dynamo pour la mesure des perméabilités, comme celle qu'a récemment décrite M. Ayrton et de faire varier progressivement l'excitation en montant puis en descendant : l'un des oscillographes étant traversé par le courant d'excitation et l'autre mis en dérivation aux bornes du petit induit, la courbe résultante tracée par la combinaison donne la courbe d'hystérésis.

5° Si l'on veut mesurer en fonction du temps des variations rapides d'une résistance non parcourue par un courant, on peut y arriver encore aisément en fermant sur cette résistance quelques éléments d'accumulateurs et en intercalant dans le circuit un oscillographe approprié. On peut choisir le voltage assez faible pour que le courant qui traverse la résistance n'en modifie pas la variation d'une façon sensible. La force électromotrice étant constante, le courant mesure la résistance et varie avec elle. Par exemple on pourrait réaliser de cette manière une application intéressante de la très ingénieuse méthode récemment indiquée par M. P. Janet pour l'étude des lampes à incandescence en inscrivant sur le tambour tournant les variations de résistance du filament pendant son refroidissement. Il suffirait, au moment où l'on interrompt le courant principal à 160 volts de mettre les lampes en circuit avec un accumulateur à quelques volts et tracer par un oscillographe la variation du courant. Celui-

ci introduit il est vrai un petit échauffement par effet Joule, mais il est facile d'en tenir compte en retranchant de l'énergie rayonnée par le filament à chaque instant celle qui lui est fournie par le courant.

Je donnerai prochainement quelques exemples de ces applications, et en particulier de la méthode des deux oscillographes.

A. BLONDEL.

MESURE DES RÉSISTANCES (1)

CAS PARTICULIERS

On a quelquefois besoin de mesurer la résistance de l'*unique* galvanomètre dont on dispose, divers moyens sont employés ; l'un des plus commodes est une adaptation du pont de Wheatstone due à lord Kelvin.

Dans cette méthode on fait usage d'une boite de résistances à pont ordinaire ; on intercale le galvanomètre à mesurer dans la branche x et on forme le *pont* au moyen d'une clef de court-circuit (fig. 7). Le galvanomètre est toujours traversé par le courant, mais quand les quatre branches sont dans le rapport habituel, la fermeture et l'ouverture de la clef K sont sans action sur l'intensité dans le galvanomètre, puisque les points 3 et 4 sont au même potentiel ; au contraire, si le rapport n'est pas exact, le pont est traversé par un courant et l'intensité en g change ; c'est une méthode de faux zéro.

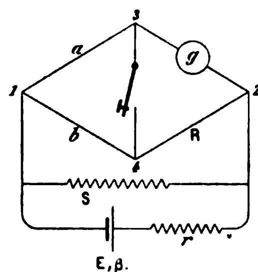


Fig. 7. — Mesure de résistance d'un galvanomètre.

Pratiquement, cette mesure s'effectue avec une boîte ordinaire dans laquelle on a réuni les bornes *galvanomètre* au moyen d'un fil de résistance négligeable ; le galvanomètre étant placé aux bornes *résistance*. On place la pile comme d'ordinaire, mais comme il faut pouvoir réduire la différence de potentiel entre 1 et 2, de façon à maintenir la déviation du galvanomètre dans les limites de l'échelle, on dispose une résistance r et un shunt S susceptibles de varier facilement et dans des limites assez étendues.

La manœuvre est très simple ; on ferme d'abord le circuit de la pile, puis on règle r et S de façon à obtenir une déviation du galvanomètre, aussi grande que le permet l'échelle employée.

On a d'abord mis en a, b et R les valeurs présumées ; abaissant la clef K, on observe la déviation du galvanomètre ; si elle augmente, c'est que la résistance R est trop grande. En procédant par tâtonnements, comme pour le pont de Wheatstone, on arrive à trouver la valeur de R pour laquelle l'abaissement de la clef K ne fait plus varier la déviation ; à ce moment,

$$g = R\frac{a}{b}.$$

Pendant ces tâtonnements, la déviation change en même temps que R et peut devenir trop petite, c'est pour cette raison qu'il faut former r et S, ou tout au moins l'un des deux, au moyen de rhéostats facilement réglables. C'est surtout à la fin du réglage qu'il faut rendre la déviation aussi grande que possible.

Dans la méthode de demi-déviation, applicable aux galvanomètres sensibles, on place, dans le circuit d'une pile constante, shuntée si besoin est, une grande résistance R en série avec le galvanomètre g. La déviation d, ramenée à une grandeur convenable au moyen du shunt de la pile, est notée ; puis on shunte le galvanomètre jusqu'à réduire la déviation

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 3 et du 10 avril, p. 59 et 103.

à la moitié ; le galvanomètre étant supposé proportionnel, le shunt S est alors égal à la résistance g cherchée. Lorsque la résistance R n'est pas très grande par rapport à g, l'introduction du shunt S modifie l'intensité totale, la valeur vraie de g, est :

$$g = S \frac{R}{R-S}.$$

Ces méthodes, malgré tout le soin apporté à leur emploi, ne donnent pas des résultats comparables à la mesure directe au pont de Wheatstone ; on ne doit s'en servir que lorsqu'on ne dispose pas d'un autre galvanomètre sensible.

La résistance intérieure des piles est aussi une quantité que l'on a fréquemment besoin de connaître, malheureusement la polarisation apporte à cette mesure des difficultés nombreuses.

Une méthode des plus simples, applicable aux piles qui polarisent peu, consiste à relier la pile à mesurer avec un galvanomètre de grande résistance g, et de sensibilité convenable pour donner une déviation d_1 suffisante. La pile étant shuntée par une résistance S telle que la déviation d_2 soit la moitié de d_1, on a évidemment S égal à la résistance intérieure, β, cherchée, en négligeant le courant dans le galvanomètre. En pratique, on a généralement pour β des valeurs fractionnaires de l'ohm ; les boites de résistances ne permettent pas toujours d'obtenir une valeur $S = \beta$, il vaut mieux alors noter les deux déviations d_1 et d_2 observées, leur rapport étant assez voisin de 2, et calculer β :

$$\beta = \frac{Sg\,(d_1 - d_2)}{d_2\,(g + S) + Sd_1}.$$

Quand g est très grand par rapport à S, on écrit plus simplement :

$$\beta = S \frac{d_1 - d_2}{d_2}.$$

Cette formule est généralement employée, car on peut, presque toujours, faire $g \geqq 100$ S.

La méthode, très employée industriellement, qui consiste à mesurer, au moyen d'un voltmètre de résistance élevée, la force électromotrice à circuit ouvert, puis la différence de potentiel aux bornes, quand la pile est fermée sur une résistance S, n'est qu'une des formes de la précédente. Quand la résistance S est connue, on a, en appelant E et e, la force électromotrice et la différence de potentiel mesurées :

$$\beta = S \frac{E - e}{e}.$$

Quand S est inconnu et qu'on connait l'intensité I dans le circuit, on a :

$$\beta = \frac{E - e}{I}.$$

Cette méthode donne une résistance *apparente* de la pile, toujours plus grande que la résistance réelle, et d'autant plus que la polarisation est plus énergique. Néanmoins, au point de vue industriel, les valeurs e et R ou I obtenues sont plus intéressantes, car elles permettent de connaître la puissance utile

$$\frac{e^2}{R} \text{ ou } eI,$$

fournie par la pile dans des conditions déterminées.

La méthode de Munro est encore une des formes de la première, dans laquelle on mesure les valeurs de d_1 et d_2 au moyen d'un condensateur, ce qui réduit notablement l'effet de la polarisation.

La pile à mesurer est reliée à un condensateur C (fig. 8), d'une part directement, d'autre part par l'intermédiaire d'une clef K et du galvanomètre g; un shunt S peut être placé entre les bornes de la pile, de préférence au moyen de contacts à mercure. Tout étant disposé, le shunt S ouvert, on abaisse la clef K, le galvanomètre reçoit le courant de charge qui lui communique une impulsion ε_1 proportionnelle à CE. Quand le galvanomètre est revenu au zéro, on ferme brusquement le shunt S, la différence de potentiel entre 1 et 2

s'abaisse et le condensateur se décharge d'une quantité $CE \frac{\beta}{\beta + S}$, laquelle donne une élongation ε_2, de sens opposé ; on tire de ε_1 et ε_2 :

$$\beta = S \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}.$$

On doit toujours se rapprocher de $\varepsilon_1 = 2\varepsilon_2$, pour réduire l'erreur de lecture au minimum.

Bien que le temps de charge du condensateur soit très court, il arrive souvent, avec

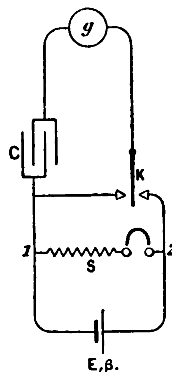


Fig. 8. — Méthode de Munro.

les piles très polarisables et quand la durée d'oscillation du galvanomètre est longue, que la polarisation donne à ε_2 une valeur trop forte, par suite β est aussi trop élevé. On conçoit facilement qu'il doit en être ainsi, car à la décharge instantanée du condensateur, proportionnelle à $CE \frac{\beta}{\beta + S}$, s'ajoute la décharge provoquée par l'affaiblissement de E sous l'action de la polarisation ; l'erreur est d'autant plus grande que la vitesse de polarisation $\frac{dE}{dt}$ est elle-même plus grande. On peut éliminer en partie à défaut, comme l'a proposé M. Fabry, en laissant le condensateur relié à la pile pendant un temps très court, au moment de la décharge ; la disposition à employer consiste à fermer le shunt S, la clef K étant abaissée, puis aussitôt à isoler celle-ci ; quand les deux mouvements sont bien réglés, on doit obtenir des résultats plus précis.

Dans la méthode de Mance, considérée par beaucoup de personnes comme la plus exacte pour les piles polarisables, la pile est placée dans la branche x du pont de Wheatstone (fig. 9) ; le galvanomètre, muni d'une résistance r et d'un shunt S, reste à sa place habi-

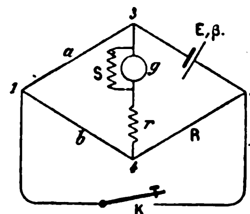


Fig. 9. — Méthode de Mauce.

tuelle; enfin, la branche de la pile est formée par un fil sans résistance appréciable et une clef de court-circuit K. Comme on le voit, cette disposition rappelle beaucoup celle de Kelvin pour la mesure des galvanomètres.

Tant que la clef K est ouverte, le galvanomètre est parcouru par un courant i_g, en faisant abstraction de r et S,

$$i_g = \frac{E(a+b)}{(\beta + R)(g + a + b) + g(a+b)};$$

dès que celle-ci est fermée, les points 1 et 2 sont réunis, et l'intensité devient :

$$i'_g = \frac{Ea(b+R)}{\beta(g+a)(b+R) + \beta Rb + ga(b+R) + abR}.$$

Pour que $i'_g = i_g$, il faut et il suffit que l'on ait, comme dans le pont de Wheatstone :

$$\beta = R\frac{a}{b};$$

c'est encore une méthode de faux zéro.

Au moyen d'une boite à pont, on établit les connexions indiquées (fig. 9), puis on règle r et S de façon à avoir une déviation convenable. Abaissant ensuite la clef K, on observe le galvanomètre; si la déviation augmente, R est trop grand. Ce que l'on constate, en réalité, ce n'est pas le repos du galvanomètre, car la fermeture de K augmente notablement l'intensité fournie par la pile et, par conséquent, augmente la polarisation, de telle sorte que, si l'on est très près de l'équi-

libre, mais avec R en excès, la déviation augmente d'abord un peu, puis diminue plus ou moins vite selon la constance de la pile mesurée; ce phénomène rend assez difficile l'observation de l'équilibre; en réalité cette méthode n'est pas plus exacte que les autres. Pour obtenir des résultats aussi bons que possible, il faut observer très soigneusement le spot, prendre une valeur trop grande de R, la diminuer progressivement jusqu'au moment où le crochet qui fait le spot, à l'opposé du zéro, disparaît. Il faut bien se rappeler que, si près que l'on soit de l'équilibre, la déviation diminue toujours.

Il faut évidemment faire la déviation aussi grande que possible, pour faciliter la mesure, dans ce but on déplace souvent le zéro en dehors de l'échelle, pour augmenter la déviation totale. Dans le même but, et aussi pour éliminer la variation lente causée par la polarisation, on a proposé de faire la mesure au moyen d'un galvanomètre balistique, en intercalant un condensateur dans la branche du galvanomètre (Lodge) ou une bobine d'induction sans fer dont le secondaire est relié au galvanomètre, le primaire occupant le pont entre 3 et 4 (d'Infreville). Dans ces deux dispositions, le galvanomètre reste au zéro quand l'équilibre est obtenu, que l'on abaisse ou non la clef K; néanmoins la polarisation amène, comme dans la méthode de Munro, des variations qui ne sont pas dues à la résistance mesurée; de plus, ces deux méthodes exigent des galvanomètres balistiques très sensibles, il vaut mieux, toutes choses égales d'ailleurs, employer la méthode de Munro, qui donne plus de sensibilité.

CALCUL DES CONDUCTIBILITÉS ET DES RÉSISTIVITÉS

La *conductibilité* d'un corps est, à proprement parler, l'inverse de sa résistance; mais, par suite d'un usage déjà ancien, on désigne généralement sous ce nom, le rapport inverse de la *résistivité* de ce corps à celle d'un autre corps pris comme étalon. Dans la plupart des marchés pour la fourniture des conducteurs électriques, au lieu de définir la résistivité que devra avoir le métal à une température donnée, on stipule que sa conductibilité devra être, par exemple, de 98; ce qui revient à dire que le conducteur devra avoir une résistance au plus égale à $\frac{100}{98}$ de celle qu'il aurait s'il était constitué par du cuivre pur. Les progrès de la métallurgie ont permis d'obtenir des cuivres de plus en plus purs, de telle sorte que ce qui était pris comme étalon il y a quelques années, est dépassé aujourd'hui; pour éviter les modifications incessantes que le progrès aurait amenées, l'usage a prévalu de prendre comme étalon le cuivre étudié par Matthiessen, dont la résistivité, à 0°, est exprimée en ohm international :

1,5922 microhm-cm.

avec un coefficient de variation très voisin de :

0,004 par degré.

On fait aujourd'hui des cuivres dont la conductibilité dépasse 102, celle de l'étalon étant 100. Cette méthode, peu rationnelle, n'a que l'avantage de désigner clairement la qualité du métal employé, néanmoins il serait préférable de toujours substituer à cette quantité l'indication plus précise de la résistivité.

La conductibilité ainsi définie a pour expression :

$$\gamma_1 = 100 \frac{\rho_0}{\rho},$$

en appelant ρ_0 la résistivité du cuivre étalon et ρ celle de l'échantillon mesuré.

Si l'échantillon est du cuivre pur, ou à peu près, les coefficients de variation sont sensiblement égaux et on peut considérer la conductibilité comme indépendante de la température; si l'échantillon est un alliage, il faut avoir soin de définir la température.

Dans le cas de la mesure des fils de cuivre, la correction de température peut être évitée en prenant pour terme de comparaison un fil dont la conductibilité est connue, et qui est placé dans les mêmes conditions de tempé-

rature ; cette disposition constitue en réalité le meilleur thermomètre.

Soient γ_0, d_0, l_0, la conductibilité, le diamètre et la longueur du fil pris comme terme de comparaison ; γ_1, d_1, l_1 les mêmes quantités relatives à l'échantillon essayé ; la mesure ayant donné les résistances R_0 et R_1, la conductibilité γ_1 a pour valeur :

$$\gamma_1 = \frac{R_0}{R_1} \gamma_0 \frac{d_0^2 l_1}{d_1^2 l_0}.$$

Quand il s'agit de la mesure de barres de quelques millimètres de diamètre, l'opération peut encore être simplifiée si l'on a préalablement déterminé la conductibilité exacte d'une barre de même diamètre ; le cas se présente fréquemment dans les usines de fabrication du cuivre.

On met en série la barre à mesurer, la barre étalon et une pile ou mieux des accumulateurs destinés à fournir un courant constant. Au moyen d'un galvanomètre de grande résistance, fonctionnant comme voltmètre, on mesure la différence de potentiel entre deux points pris sur la barre étalon, puis on cherche, sur la barre à mesurer, deux autres points entre lesquels existe la même différence de potentiel ; les résistances étant égales, ainsi que les sections des barres, les conductibilités sont proportionnelles aux longueurs mesurées sur chaque échantillon. Si, par exemple, la conductibilité de l'étalon est 99,5, et si l'on a pris sur cette barre une longueur de 99,5 cm, la longueur correspondante de l'autre échantillon, exprimée en centimètres, donnera immédiatement la conductibilité cherchée.

On sait que la *résistance* R d'un conducteur est donnée, à la température θ, par l'équation :

$$R = \rho \frac{l}{S} (1 + a\theta),$$

on en déduit la *résistivité* ρ, à zéro,

$$\rho = \frac{R}{1 + a\theta} \frac{S}{l}.$$

Cette détermination exige la mesure électrique d'une résistance R, mesure qui se fait, selon la grandeur de R, par l'une des méthodes indiquées précédemment. L'observation de la température θ doit être faite au moyen d'un thermomètre assez sensible, à $\frac{1}{10}$ de degré près, si l'on veut obtenir une exactitude de l'ordre de 0,1 p. 100, la résistance à mesurer et la boîte doivent être placées dans une salle à température assez constante et plusieurs heures avant la mesure ; la température indiquée est celle de l'air ambiant.

La mesure de l et S exige un grand soin, la plupart des erreurs viennent de là.

La longueur l se mesure, pour les fils fins, en les étendant, sans les allonger, et au moyen d'un mètre exact ; la longueur mesurée étant généralement assez faible, cette mesure n'offre aucune difficulté. Pour les moyens diamètres, il faut, suivant que l'on mesure R avec un pont de Wheatstone, ou un pont de Thomson, prendre une assez grande longueur, quelquefois 100 ou 200 mètres, ou un mètre seulement. Dans le premier cas, on enroule le conducteur sur un tambour en bois, dans une hélice tracée à la surface ; la longueur de fil enroulé est vérifiée, une fois pour toutes, au moyen des dimensions du tambour et par une mesure directe. Dans le second cas, le fil, bien redressé, est placé sur une planchette sur laquelle deux couteaux, à poste fixe, sont à une distance bien connue ; ces couteaux sont reliés aux points de dérivation du pont de Thomson. Pour les grosses barres, on emploie toujours cette dernière disposition.

La section S est plus délicate à mesurer, à cause des irrégularités qui se présentent dans la longueur du conducteur. Pour les grandes dimensions, la mesure se fait au moyen d'un pied à coulisse ou d'un palmer, à moins de 0,1 mm près ; il faut faire la mesure sur plusieurs sections, également réparties sur toute la longueur et prendre la moyenne. Quand la section est circulaire, il

est nécessaire de mesurer également plusieurs diamètres équidistants, pour éliminer les irrégularités qui se produisent toujours. Il est bon de faire observer que l'erreur relative commise sur le diamètre est doublée dans la section; c'est dire que cette mesure a besoin d'être très soignée.

Pour les fils fins, la question se complique de la difficulté que l'on a d'éviter les déformations mécaniques, allongement, écrasement produit par le palmer ou en dénudant le fil de son isolant. C'est surtout dans les fils fins que le diamètre est irrégulier et c'est là qu'il faut apporter le plus de soin. On peut mesurer le diamètre au moyen d'un sphéromètre en coupant, aux deux extrémités du fil, des échantillons très courts que l'on place sous un verre plan d'épaisseur connue.

On emploie quelquefois, pour les fils fins, un moyen détourné qui consiste à *peser* une longueur connue et à calculer la section en supposant la densité connue. Ce moyen est mauvais, il peut conduire à des erreurs supérieures à 2 p. 100, car la densité varie avec le travail auquel a été soumis le métal; un fil très fin et écroui est toujours plus dense qu'un gros fil pris dans la même masse. On peut, à la rigueur, déterminer la densité de l'échantillon lui-même, mais ce moyen est trop long et trop délicat, il exige des observateurs très habitués aux manipulations de la physique.

On a souvent aussi à mesurer la résistivité des diélectriques. Quand ceux-ci se présentent sous la forme d'un échantillon de petites dimensions, il est plus facile de déterminer exactement ces dimensions, mais en revanche la mesure de la résistance exige des galvanomètres extrêmement sensibles; il faut en outre prendre des précautions pour éviter que les dérivations par la surface, qui sont souvent prépondérantes, causent des erreurs dans la mesure.

La mesure peut se faire par la méthode de déviation, au moyen du montage de la figure 6, modifié comme on le voit (fig. 10). L'échantillon à mesurer, amené sous la forme d'une plaque, d'épaisseur assez petite, est placée entre deux plaques métalliques A et B; le contact de ces plaques avec l'échantillon est assuré par un dressage soigné des faces, et, si cela est nécessaire en collant les faces en regard au moyen d'une colle liquide qui conserve toujours assez de conductibilité pour

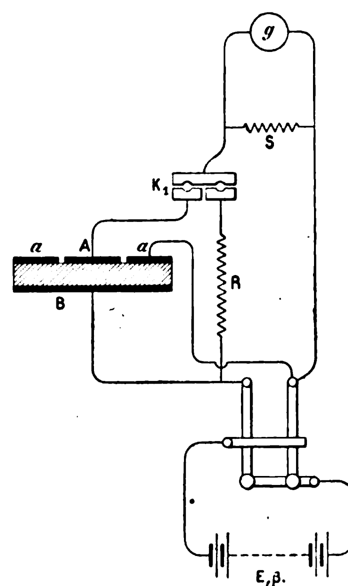


Fig. 10. — Emploi de l'anneau de garde.

assurer la communication électrique; ce procédé, qui ne doit pas être employé quand la colle est capable de pénétrer dans l'isolant, a le défaut d'introduire une substance polarisable, mais, devant les très grandes valeurs de E nécessaires, cet inconvénient est très atténué.

La plaque A est plus petite que la plaque B, en outre elle est environnée d'une autre plaque *aa*, comparable à l'anneau de garde de l'électromètre absolu; cette plaque de garde est reliée au pôle opposé de la pile, elle a pour but de ramener directement à celle-ci, le courant, dérivé par les bords de l'échantillon, qui peut causer des erreurs très considérables. Dans ces conditions le courant mesuré par le galvanomètre, est bien celui qui a traversé le diélectrique; la sec-

tion du conducteur mesuré est égale à la surface de la plaque A. Il faut se placer, néanmoins, dans une atmosphère très sèche, de façon à réduire, autant que possible, ces dérivations par la surface, il faut aussi noter très exactement la température qui a, pour les diélectriques, une importance très considérable.

Quand l'échantillon recouvre un fil d'une certaine longueur, la résistance à mesurer est relativement plus faible, mais les dimensions du corps sont moins bien déterminées.

Le fil étant circulaire et l'isolant concentrique, le rapport $\frac{l}{S}$ est, suivant la formule connue,

$$\frac{l}{S} = \frac{1}{2\pi L} \log_n \frac{r_2}{r_1},$$

en appelant L la longueur du fil isolé, r_1 et r_2, les rayons intérieur et extérieur de l'isolant.

L'échantillon à mesurer est plongé dans l'eau et on procède comme nous l'avons dit pour les essais de câbles. Il est important de garnir de paraffine les deux bouts du fil et de les maintenir hors de l'eau ; on peut aussi enrouler sur ces bouts, à l'extérieur de la paraffine, quelques tours de fil reliés à la pile comme ci-dessus et qui agissent comme anneau de garde.

H. Armagnat.

REVUE INDUSTRIELLE

ET DES INVENTIONS

Commutateur universel Ch. Mildé fils et Cie.

La construction d'un commutateur est un problème pratique important, très simple en apparence, mais en réalité assez complexe. L'appareil doit être, en effet, de petit volume, peu coûteux, simple et robuste; les surfaces de contact doivent être assez grandes pour assurer au courant électrique un ample passage sans résistance notable et partant sans échauffement dangereux; ces surfaces de contact ne doivent pas pouvoir s'encrasser, le fonctionnement même de l'appareil devant suffire à les nettoyer automatiquement; enfin, la rupture du circuit doit être effectuée assez rapidement pour éviter la formation d'étincelles qui ne tarderaient pas à mettre le commutateur hors d'usage et seraient une cause

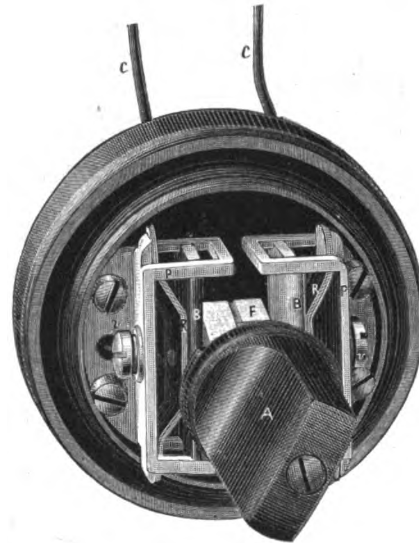


Fig. 1. — Commutateur universel Ch. Mildé fils et Cie.

d'accidents. L'appareil que représente notre gravure (fig. 1) satisfait bien à ces conditions multiples.

Les fils C d'amenée du courant sont fixés séparément par des vis *v* sur deux ponts métalliques P, montés sur la base isolante du commutateur; chaque pont est en forme d'U couché horizontalement; ses deux branches sont munies de fentes horizontales dans lesquelles peut coulisser librement une plaque métallique B; un ressort à lames R, est rivé à cette dernière en son milieu et vient s'appuyer par ses extrémités libres sur le pont P; sous l'action des ressorts, les deux plaques sont poussées l'une vers l'autre, mais elles ne peuvent venir en contact, leur course étant limitée par la longueur des fentes dans lesquelles elles coulissent.

C'est entre elles qu'on introduit la fiche F

qui établit ou rompt le contact; elle est composée (fig. 2 et 3), d'un prisme droit quadrangulaire en matière isolante; deux de ses faces opposées sont garnies de touches en métal communiquant électriquement entre elles; la clé de manœuvre A porte à sa partie inférieure une cheville *c* qui est engagée dans une échancrure *oo* pratiquée dans le bord supérieur de la fiche. Lors de la manœuvre, qui peut être faite dans un sens ou dans l'autre, la cheville *c* entraîne la fiche F, qui tourne en poussant les plaques B contre l'action des ressorts; lorsque la rotation est en partie accomplie, c'est-à-dire lorsque la fiche ne touche plus les plaques B que par l'arête de ses angles opposés, la poussée des ressorts fait accomplir brusquement la dernière partie du mouvement, ce qui est rendu possible par l'échancrure *oo*. La rupture est ainsi obtenue sans étincelles sensibles et il est, en outre, impossible de laisser le commutateur dans une position intermédiaire dangereuse.

Les plaques de contact sont nettoyées automatiquement par le mouvement de la cheville F et les surfaces de contact entre les ressorts et le pont le sont également à chaque compression des ressorts. Le frottement de la cheville sur les plaques en laiton tend à métalliser l'isolant, ce qui pourrait nuire au fonctionnement de l'appareil après un certain temps d'usage; cet inconvénient est évité en creusant la partie médiane des faces isolantes, comme le représente la figure.

La fiche F pivote à son extrémité inférieure dans une ouverture pratiquée dans la base du commutateur et elle est guidée à sa partie supérieure par le couvercle; cela permet de la retirer aisément.

Elle peut être remplacée par une autre fiche de mêmes dimensions dans laquelle les lames de contact ne sont pas réunies entre elles, mais sont terminées dans l'intérieur de la clé par deux bornes de prise de courant, ainsi que le représente la figure 4; ces bornes sont réunies aux deux fils d'une lampe, d'un lustre, etc., en sorte que l'appareil sert alors à la fois de prise de courant et de commutateur pour les appareils ainsi branchés, disposition qui simplifie la manœuvre et permet de diminuer le nombre d'appareils, qui sont toujours des points faibles dans les canalisations.

On peut remplacer les communications intérieures de la fiche par des plombs fusibles qui protègent les appareils d'utilisation. En cas de fusion, il suffit de remplacer la fiche brûlée par une fiche neuve, ce qui se fait très rapidement. G. P.

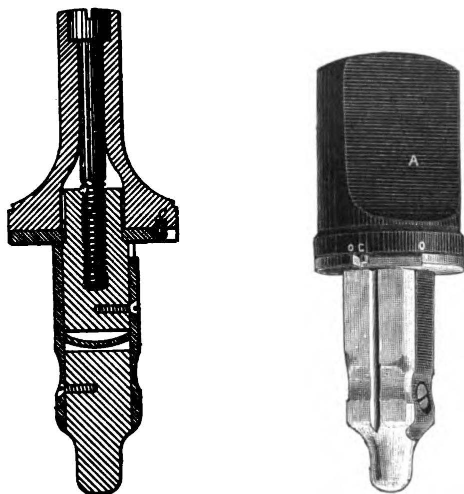


Fig. 2 et 3. — Détail de la fiche du commutateur.

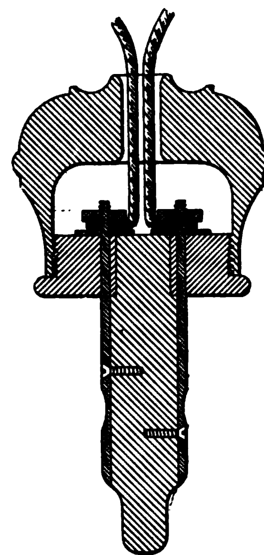


Fig. 4. — Détail de la fiche de prise de courant.

L'emploi de l'électricité dans le moulage de l'aluminium.

On sait qu'après le moulage, un métal subit un retrait causé par le refroidissement qui bien souvent fait rejeter la pièce coulée. Certains métaux, l'aluminium en particulier, nécessitent des dispositions spéciales pour prévenir cette action. La première méthode employée consistait à chauffer le moule à une température voisine de celle de l'aluminium en fusion dont on venait de le remplir; on refroidissait ensuite le moule graduellement de bas en haut. On obtenait ainsi des pièces à peu près parfaites. Un autre procédé, ana-

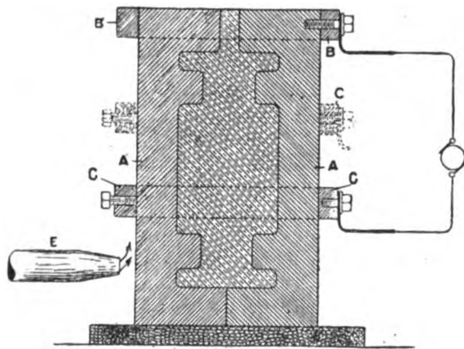


Fig. 1.

logue en principe, mais beaucoup plus simple et plus expéditif vient, nous dit *The Electrician*, de Londres, d'être imaginé par M. A.-E. Hunt, de la Pittsburg Reduction C°, et employé avec succès dans les ateliers de cette compagnie. Il consiste à employer l'électricité comme source de chaleur par le dispositif que représente la figure 1. Le moule est pourvu de deux colliers de contact dont l'un B B est fixé à la partie supérieure et l'autre C C mobile le long de l'enveloppe A A; les deux écrous dont ils sont munis reçoivent les conducteurs d'une dynamo ou d'une source d'électricité quelconque. Dès que le métal est versé on fait passer le courant qui doit échauffer le moule, on raccourcit ensuite l'espace entre les deux colliers, comme il est indiqué en traits ponctués pendant qu'un courant d'air lancé par la tuyère E refroidit graduellement la partie au-dessous du circuit. L'opération est poursuivie jusqu'à ce que les colliers viennent à se toucher. Ce procédé a été employé avec avantage dans le coulage des cadres de bicyclettes. L. D.

Conductibilité électrique de l'aluminium.

Par Joseph-W. Richards et John A. Thomson [1].

Les données relatives à la conductibilité de l'aluminium ne manquent pas, mais bien peu concordent entre elles. Ces divergences proviennent de plusieurs causes: 1° la difficulté de se procurer de l'aluminium pur; jusqu'en 1886, le meilleur aluminium commercial contenait rarement plus de 98 p. 100 de son poids d'aluminium et c'est seulement depuis 1889 qu'on trouve couramment dans le commerce de l'aluminium à 99 p. 100 de pureté; or, il a été reconnu que cette augmentation de pureté s'est traduite par une augmentation de 10 p. 100 de la conductibilité; 2° l'emploi dans les mesures de résistances de comparaison en argent et en cuivre dont la pureté chimique et surtout les conditions physiques n'étaient pas bien déterminées; 3° le manque d'étalon précis de résistances; 4° enfin l'imperfection des méthodes et des instruments employés.

Les recherches des auteurs ont porté sur des échantillons d'aluminium très purs fournis par la Pittsburg Reduction C° et analysés par M. Handy, du Pittsburg Testing Laboratory. Les mesures ont été faites par la méthode de Carey Foster et par comparaison avec une bobine étalon de 1 ohm international de résistance; leur approximation est de 0,02 p. 100. Le métal était sous forme de fils de 17 à 18 mètres de longueur; le diamètre de ces fils était mesuré au moyen d'un micromètre et le résultat contrôlé par une nouvelle détermination à l'aide de la masse du fil et de la densité du métal. Les fils étaient en-

(1) *Journal of the Franklin Institut*, mars 1897.

roulés sur des bobines de bois plongées dans de l'huile dont la température était donnée par un thermomètre précis. Le galvanomètre employé était un instrument à réflexion de grande sensibilité. La bobine étalon était plongée dans de l'eau et la température de la salle d'expériences était maintenue aussi constante que possible. Le pont était soigneusement étalonné et toutes les lectures répétées à plusieurs reprises.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

N°	COMPOSITION						R	ρ	
	Al	Fe	Cu	Si	Na	Zn	Dur.	Dur.	Doux.
1	99,66	0,10	0,00	0,16	0,008	—	0,031245	2453,7	2432,2
2	99,58	0,25	0,00	0,16	0,052	—	0,03290	2584,0	2535,6
3	98,77	0,20	0,57	0,45	0,012	—	0,03627	2848,0	—
4	97,16	0,25	2,26	0,30	0,032	—	0,03590	2819,6	—
5	94,39	0,25	3,07	0,24	0,052	1,50	0,03583	3011,4	2984,7

Dans ce tableau, la première colonne indique le numéro de l'échantillon, les suivantes, la composition de chaque échantillon. R est la résistance en ohms, à 0° C, d'un fil de 1 m de longueur et de 1 mm de diamètre, ρ est la résistance, à 0° C, d'un cm^3 du métal, exprimée en unités absolues de résistance. La réduction relative à la température a été faite en prenant, pour les échantillons 1, 2 et 3, le coefficient 0,00392 par degré, coefficient déterminé par les auteurs sur l'échantillon 1 ; pour les échantillons 4 et 5, le coefficient adopté est un coefficient un peu plus faible, déterminé par M. C.-E Scott, de la Westinghouse Electric C° sur des échantillons de composition analogue.

M. Scott avait également déterminé les conductibilités, par rapport au cuivre, des divers échantillons étudiés par les auteurs.

N°	ρ = 1580		ρ = 1562		Scott.
	Doux.	Dur.	Doux.	Dur.	Dur.
1	65,0	64,4	64,2	63,7	63,1
2	62,3	61,1	61,6	60,5	62,2
3	—	55,5	—	54,9	56,2
4	—	56,0	—	55,4	58,5
5	52,9	52,5	52,3	51,9	55

Pour établir une comparaison entre ses résultats et les leurs, MM Richards et Thomson ont calculé les conductibilités par rapport au cuivre. en adoptant pour la résistance spécifique de ce dernier métal le nombre de Lord Kelvin $\rho' = 1580$ et celui de Dewar $\rho' = 1562$; les résultats de ces calculs et les résultats expérimentaux de M. Scott sont indiqués dans le tableau ci-dessus où la conductibilité du cuivre est représenté par 100.

MM. Richards et Thomson rappellent aussi les résultats obtenus par M. Charpentier-Page sur un aluminium commercial qu'il appelle pur. Ces résultats $\rho = 2659$ unités C. G. S. pour le métal doux et $\rho = 2684$ pour le métal dur, tombent entre les résultats obtenus avec les échantillons 2 et 3, ce qui fait penser aux auteurs que l'aluminium employé par M. Charpentier-Page ne contenait que 99 p. 100 de métal pur.

Parmi les autres résultats obtenus par divers observateurs, les auteurs citent celui de Dewar et Fleming qui ont trouvé $\rho = 2563$ pour la résistance à 0° C d'un échantillon d'aluminium suisse à environ 99 p. 100 de pureté et celui de C.-K, Mc Gel qui a trouvé 54,8 pour la conductibilité par rapport au cuivre d'un échantillon contenant 98,52 p. 100 de métal pur.

De ces divers résultats, les auteurs concluent que la conductibilité de l'aluminium

commercial dépend beaucoup de la proportion des impuretés et peut être approximativement représentée par les chiffres du tableau suivant pour le métal durci par le travail :

98,5 p. 100 de Al pur.	55,0 p. 100 de Cu.
99,0 »	59,0 »
99,5 »	61,0 »
99,75 »	63,0 à 64,0 »
100 » probablement	66,0 à 67,0 »

Recuit, l'aluminium a une conductibilité de 1 p. 100 environ plus grande. J. B.

Un nouvel indicateur thermique de fréquence;

Par M. Meyer(¹).

M. G.-W. Meyer vient d'imaginer un appareil aussi simple qu'ingénieux pour la détermination de la fréquence d'un courant alternatif. L'appareil repose sur ce que la quantité de chaleur dégagée dans un fil d'acier placé dans un champ alternatif est proportionnelle à la fréquence de ce champ.

L'instrument se compose d'un fil fin d'acier F disposé dans un électro-aimant M traversé par le courant alternatif dont on veut mesurer la fréquence.

L'allongement du fil par suite de l'élévation de température résultant des pertes par hystérésis a pour effet de déplacer un levier H fixé a un support *a* mobile autour d'un axe, l'autre extrémité du fil étant attachée à une vis de réglage R.

Le fil est maintenu tendu à l'aide d'un ressort *e* accroché à l'extrémité libre du levier Un prisme à réflexion total P est fixé sur le support *a*, enfin une échelle S est disposée à une distance convenable du prisme et une lunette *f* est placée de façon à recevoir l'image réfléchie de l'échelle. Les lectures sont prises à l'aide des réticules croisés de la lunette et mesurent l'allongement du fil par la tangente de l'angle dont le prisme a tourné.

(¹) *Elektrotechnische Zeitschrift*, janvier 1897.

La température du fil peut être facilement déduite de ces mesures; soit en effet

α le coefficient de dilatation linéaire du fil.
L_0 sa longueur avant l'expérience,
L_t sa longueur lorsque le fil est chaud,

on a :

$$L_t = L_0(1 + \alpha t),$$

d'où

$$t = \frac{L_t - L_0}{L_0 \alpha}.$$

On suppose, ce qui est généralement le cas, qu'il n'y a pas de variation sensible de la température extérieure pendant l'expérience.

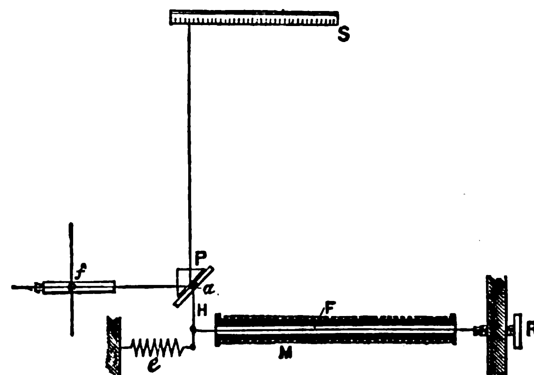


Fig. 1. — Indicateur de fréquence Meyer.

Avant chaque expérience l'instrument doit être ramené au zéro de l'échelle.

Pour déterminer l'élévation de température du fil il faut connaître la valeur de surface de la la courbe d'hystérésis, la nature d'acier du du fil ainsi que son poids et son volume.

On a avantage à employer les fils fins parce que ceux-ci s'échauffent et se refroidissent plus rapidement et par suite suivent mieux les variations de fréquence. Les courants de Foucault ont une valeur moins grande, ce qui simplifie l'équation de l'instrument.

Pour donner une idée des dimensions de l'instrument l'auteur fournit les renseignements suivants :

Le fil employé a un diamètre de 0,4 mm et une longueur de 80 cm. Son volume est donc :

$$\pi\, 0{,}02^2 \times 80 = 0{,}1005312 \text{ cm}^3.$$

L'énergie dépensée par cycle et par centimètre cube d'un fil en acier Wolfram est d'après Hopkinson de 216 000 ergs. L'énergie dépensée dans le fil considéré sera par cycle :

$$0{,}1005312 \times 216000 = 21700 \text{ ergs}$$

Or un erg correspond à une élévation de température d'un cm³ de fer de :

$$\frac{1}{42000000 \times 7{,}7 \times 0{,}12} = 2{,}81 \times 10^{-8} \text{ degré centigr.}$$

l'élévation de température du fil sera donc pour un cycle :

$$\frac{21\,700 \times 2{,}81 \times 10^{-8}}{0{,}1005312} \text{ degré centigr.}$$

et par N cycles pour seconde

$$t = \frac{21\,700 \times 2{,}81 \times 10^{-8}}{0{,}1005321} \text{N}.$$

En prenant N égal à 10 000 cycles par seconde on trouve pour t la valeur

$$t = 61{,}3^\circ \text{ C}.$$

le coefficient :

$$\frac{21\,700 \times 2.81 \times 10^{-8}}{0{,}10053},$$

est la constante de l'instrument.

L'appareil est donc surtout applicable pour des fréquences assez élevées. L'emploi du fer doux n'est pas possible par ce qu'il est nécessaire d'employer des épaisseurs assez fortes et aussi parce que les pertes par hystérésis augmentent considérablement lorsque la durée du cycle diminue. La température du fil ne doit pas dépasser 300° par suite des variations de la perméabilité au-dessus de cette température. Avec des fréquences assez faibles l'influence des courants parasites devrait être prise en considération. L'instrument peut être également employé pour déterminer le facteur de forme des courbes de courants alternatifs.

L'auteur à également imaginé un indicateur de fréquence dans lequel le circuit magnétique est complètement fermé. Un fil d'acier sans fin est tendu par deux poulies dont l'axe de l'une est fixe et celui de l'autre disposé sur les extrémités d'une pièce en forme d'U rabattue par un ressort. Le circuit magnétique étant ainsi fermé l'induction et par suite les pertes par hystérésis sont plus grande pour un même nombre d'ampères-tours. J. R.

Sur le calcul des pertes dans le fer, dans les induits dentés.

Par Max Breslauer [1].

On prend généralement comme induction moyenne dans les induits dentés dont les

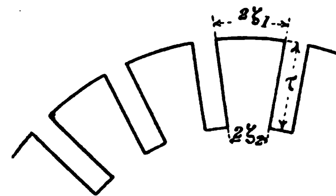


Fig. 1.

dents ont la forme de la figure 1, la valeur $\frac{\mathfrak{B}_1 + 2\,\mathfrak{B}_2}{3}$, $\mathfrak{B}_1$ étant l'induction dans la section la plus grande d'une dent et $\mathfrak{B}_2$ celle dans l'induction la plus étroite.

L'auteur établit dans cette note une formule un peu plus exacte. Considérons la section d'une demi-dent (fig. 2). L'induction dans une section de profondeur x est évidement en se reportant à la figure :

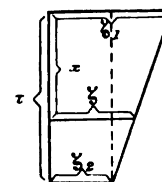


Fig. 2.

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{B}_1 \frac{z_1}{z}.$$

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift* du 11 février 1897.

Les pertes par hystérésis et par cycle dans une tranche infiniment petite d'épaisseur dx et dans laquelle l'induction est $\mathfrak{B}$, seront évidemment :

$$dW = \eta dV \mathfrak{B}^{1,6} = 2\,\eta \zeta b \mathfrak{B}^{1,6} dx,$$

où b est la largeur de l'induit suivant l'axe.

On a d'ailleurs pour le volume d'une dent :

$$V = (\zeta_1 + \zeta_2)\,\tau b.$$

Substituons la valeur de b tirée de cette expression, nous aurons, en posant :

$$\frac{\zeta_2}{\zeta_1} = \alpha,$$

$$dW = \frac{2\,\eta \zeta V \mathfrak{B}^{1,6}\,dx}{(\zeta_1 + \zeta_2)\,\tau} = \eta \mathfrak{B}_1^{1,6} V \frac{2}{1+\alpha} \frac{1}{\tau} \left(\frac{\zeta_1}{\zeta}\right)^{0,6} dx.$$

On a sur la figure 2 :

$$\zeta = \zeta_1 \left[1 - (1-\alpha)\frac{x}{\tau}\right];$$

l'expression des pertes par hystérésis dans

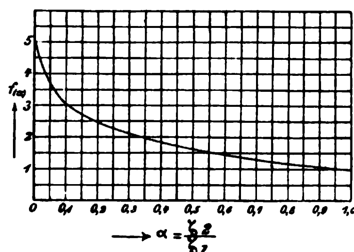


Fig. 3.

une dent est donc en intégrant entre zéro et τ :

$$W = \eta \mathfrak{B}_1^{1,6} V n \frac{2}{1+\alpha} \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \frac{dx}{\left[1 - (1-\alpha)\frac{x}{\tau}\right]^{0,6}},$$

ou finalement, n étant la fréquence en périodes par seconde :

$$W = \eta \mathfrak{B}_1^{1,6} V n 5 \frac{1-\alpha^{0,4}}{1-\alpha^2} = \eta \mathfrak{B}_1^{1,6} V f(\alpha),$$

en posant :

$$f(\alpha) = 5\,\frac{1-\alpha^{0,4}}{1-\alpha^2}.$$

En somme, il suffit donc de calculer les pertes par hystérésis comme si l'induction était égale à celle de la plus grande section de la dent et de la multiplier par un facteur dépendant uniquement du rapport α des sections maxima et minima de la dent. Pour plus de commodité dans les calculs, l'auteur donne les valeurs de $f(\alpha)$ en fonction des valeurs de α et la courbe correspondante (fig. 3).

α	$f(\alpha)$
0	5
0,1	3,040
0,2	2,472
0,3	2,101
0,5	1,614
0,7	1,304
0,9	1,087
1	1,000

Pratiquement on peut ajouter aux pertes $\eta \mathfrak{B}_1^{1,6} V \times n$, celles dues aux courants de Foucault et adopter le même coefficient $f(\alpha)$. Sa valeur exacte est du reste facile à calculer.



Fig. 4.

Un calcul analogue au précédent permet de déterminer exactement les pertes par hystérésis dans un induit à trous circulaires.

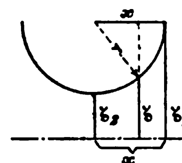


Fig. 5.

Le volume d'une dent est, en appelant r le rayon de l'encoche circulaire :

$$V = (2\,\zeta_1 \times 2r - \pi r^2)\,b.$$

On a donc comme précédemment pour l'expression dW des pertes par hystérésis et par cycle dans une tranche d'épaisseur dx :

$$dW = \frac{2\,\eta \zeta V \mathfrak{B}^{1,6}\,dx}{(4\zeta - \pi r)\,r} = \eta \mathfrak{B}_1^{1,6} V \frac{2\,\zeta_1}{4\,\zeta_1 - \pi r} \frac{1}{r} \left(\frac{\zeta_1}{\zeta}\right)^{0,6} dx.$$

Si nous posons comme plus haut $\frac{\zeta_2}{\zeta_1} = \alpha$ et si nous remarquons que l'on a :

$$\zeta = \zeta_1 \left[1 - (1 - \alpha) \sqrt{1 - \frac{x^2}{r^2}} \right],$$

nous aurons pour les pertes par hystérésis dans une dent

$$W = \eta \mathcal{B}_1^{1,6} V n \frac{1}{1 - \frac{\pi}{4}(1 - \alpha)} \frac{1}{r}$$

$$\int_0^r \frac{dx}{\left[1 - (1 - \alpha) \sqrt{1 - \frac{x^2}{r^2}} \right]^{0,6}},$$

ou :

$$W = \eta \mathcal{B}_1^{1,6} V n f(\alpha).$$

Le tableau suivant donne les valeurs de $f(\alpha)$ pour différentes valeurs de α, lesquelles sont

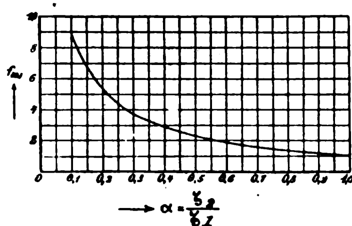


Fig. 6.

reproduites sur les courbes de la figure de 6.

α	$f(\alpha)$
0,1	8,750
0,2	5,343
0,3	3,767
0,5	2,254
0,7	1,511
0,9	1,140
1	1,000

Comme précédemment on peut prendre ces valeurs comme suffisamment approchées en pratique pour les pertes par courants de Foucault. J. R.

Deuxième note sur les moteurs asynchrones

Par A. POTIER [1].

« Dans une note précédente, j'ai traité de l'influence de la répartition des enroulements inducteurs sur le fonctionnement des moteurs polyphasés asynchrones. Il y aurait lieu d'examiner également l'influence de la répartition des circuits induits. M. C.-E. Brown a établi expérimentalement depuis longtemps que les barres induites devaient être nombreuses dans l'étendue d'un champ, ou, ce qui revient au même, que le nombre de ces barres devait avoir avec celui des barres inductrices un plus grand commun diviseur aussi faible que possible.

» I. La théorie générale serait compliquée et paraît sans intérêt, mais des expériences récentes ont attiré l'attention sur les propriétés des machines dont les enroulements induits sont pratiquement équivalents à une spire unique par champ magnétique double (une spire pour une machine bipolaire). C'est dans cette hypothèse que l'on se place souvent pour donner la théorie de ces machines; mais cette théorie, telle qu'elle est présentée ordinairement, est incomplète, parce qu'on néglige la réaction des courants induits sur le système inducteur, bien que les nombres d'ampère-tours de l'induit et de l'inducteur soient presque égaux dès que le moteur travaille; c'est cette théorie des moteurs à spire unique, plus compliquée que celle des moteurs à spires nombreuses, que je vais exposer. Pour ne pas allonger les calculs, je supposerai que chaque courant inducteur est réparti sur l'anneau de manière à fournir un champ sinusoïdal, c'est-à-dire que, à chaque instant, la composante radiale de la force magnétique dans l'entrefer est proportionnelle à une fonction sinusoïdale de l'angle au centre, si la machine est bipolaire, ou d'un multiple de cet angle, si elle est multipolaire.

» II. Soit un inducteur portant deux enroulements C à angle droit, faisant partie de deux circuits, sièges de forces électromotrices $E \sin \omega_1 t$, $E \cos \omega_1 t$, engendrant dans l'entrefer un flux sinusoïdal qui tourne avec la vitesse angulaire ω_1. Le fer de l'armature porte une spire unique, de résistance R_1; si

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 642, séance du 29 mars. Voir pour la première note *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 77, 3 avril 1897.

ω_2 est la vitesse de rotation de l'armature, la spire est le siège de courants alternatifs de fréquence $\frac{1}{2\pi}(\omega_1 - \omega_2) = \frac{1}{2\pi}\omega$, et le flux alternatif ainsi produit est entraîné avec la vitesse ω_2 par l'armature; mais ce flux est lui-même la somme de deux flux sinusoïdaux égaux, se déplaçant par rapport à l'armature avec les vitesses $\pm\omega$, se déplaçant par suite dans l'espace avec les vitesses $\omega_2 \pm \omega$; c'est-à-dire ω_1 et $2\omega_2 - \omega_1$.

» Le premier combiné avec le flux sinusoïdal dû aux inducteurs est ce qu'on nomme ordinairement le *flux magnétisant;* c'est également ce premier flux qui produit la force contre-électromotrice de période $\frac{2\pi}{\omega_1}$ dans les circuits inducteurs. Quant au second, on le néglige dans les théories dites élémentaires; il est clair, cependant, qu'à ce flux correspond une force électromotrice dans les circuits C_1 et des courants de période $\frac{2\pi}{2\omega_2 - \omega_1}$, et un nouveau couple électromagnétique, dont le sens change avec le signe de $2\omega_2 - \omega_1$.

» III. Le calcul confirme ce raisonnement: si R, L sont la résistance et le coefficient de self-induction des circuits C, I_1 et I_2 les intensités des courants qui y circulent, R_1, L_1 la résistance et la self-induction de la spire unique; enfin, $M \sin \omega_2 t$, $M \cos \omega_2 t$ les coefficients d'induction mutuelle de cette spire et des circuits (ce qui exprime que le flux est sinusoïdal dans l'entrefer); I l'intensité dans la spire, le flux à travers la spire sera

$$M(I_1 \sin \omega_2 t + I_2 \cos \omega_2 t) = MX;$$

il sera commode de poser

$$I_1 \cos \omega_2 t - I_2 \sin \omega_2 t = Y.$$

MY est la dérivée du flux par rapport à l'angle au centre, de sorte qu'on aura

$$I_1 = X \sin \omega_2 t + Y \cos \omega_2 t, \qquad I_2 = X \cos \omega_2 t - Y \sin \omega_2 t.$$

» Les équations bien connues deviennent

$$E \cos(\omega_1 - \omega_2)t = RX + LX' - L\omega_2 Y + I'M, \quad (1)$$
$$E \sin(\omega_1 - \omega_2)t = RY + LY' - L\omega_2 X + \omega_2 IM, \quad (2)$$
$$R_1 I + L_1 I' + MX' = 0. \quad (3)$$

ce qui montre que I et X, Y sont des fonctions sinusoïdales du temps de période $\frac{2\pi}{\omega}$, mais, par suite, que I_1 et I_2 sont les sommes de fonctions périodiques, de périodes $\frac{2\pi}{\omega_1}$ et $\frac{2\pi}{2\omega_2 - \omega_1}$ ou $\frac{2\pi}{\omega_2 - \omega}$.

» IV. Quant au couple, sa valeur MYI est de période $\frac{2\pi}{\omega}$. Pour obtenir sa valeur moyenne, on remarquera qu'en dérivant l'équation (1) par rapport au temps, ajoutant l'équation (2) après en avoir multiplié les deux membres par $\omega = \omega_1 - \omega_2$, et posant ensuite $Z\omega = X' + \omega Y$, on obtient (¹)

$$0 = R\omega Z + L(\omega - \omega_2)Z' = MI\omega(\omega - \omega_2);$$

par suite, la valeur moyenne de ZI pendant une période est

$$ZI = \frac{MR(\omega - \omega_2)}{R^2 + L^2(\omega - \omega_2)^2} I^2_{eff}.$$

» D'après l'équation (3), la valeur moyenne de X'I est $-\frac{R_1}{M} I^2_{eff}$.

» Le couple est la valeur moyenne de

$$M\left(Z - \frac{X'}{\omega}\right):$$

il est donc $M\left[\frac{R_1}{M\omega} + \frac{MR(\omega - \omega_2)}{R^2 - L^2(\omega - \omega_2)^2}\right] I^2_{eff}$.

» Ce couple est toujours moteur, si ω est plus grand que ω_2, ou si ω_2 est inférieur à la moitié de ω; mais il peut devenir négatif ou résistant, si ω_2 dépasse cette valeur; par exemple, si l'on a

$$4 R_1 L < M^2\left(\omega_1 - \frac{R}{L}\right),$$

le couple sera résistant pour une vitesse de rotation

$$\omega_2 = \frac{1}{2}\left(\omega_1 + \frac{R}{L}\right).$$

» Comme le couple est moteur pour $\omega_2 = 0$, et pour les valeurs de ω_2 suffisamment grandes, il s'annulera deux fois entre $\omega_2 = 0$ et $\omega_2 = \omega_1$;

(¹) Il faut tenir compte de ce que $I'' + \omega^2 I = X'' + \omega^2 X = Y'' + \omega^2 Y = 0$.

son allure en fonction de ω_2, sera analogue à celle qui a été étudiée dans la note precédente : il y aura deux vitesses de régime à faible charge, avec cette différence que la petite vitesse sera voisine de $\frac{\omega_1}{2}$, au lieu d'être voisine de $\frac{\omega_1}{3}$, et qu'on doit avoir égard à la nature des circuits inducteurs. »

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du mercredi 7 avril 1897.

Séance annuelle en partie occupée par la lecture des rapports administratifs et par le renouvellement du comité, mais qui a présenté un intérêt exceptionnel par suite de la conférence de M. le Dr d'Arsonval sur l'action physiologique et thérapeutique des courants à haute fréquence.

Les rapports montrent un état très prospère de la Société ; le nombre des membres qui la composent s'élève actuellement à 1041 ; le Laboratoire central d'électricité et l'École pratique d'électricité qui en sont les annexes, sont également très prospères ; le nombre des élèves de celle-ci est de 40 pour l'année courante, alors qu'au début 12 ingénieurs seulement avaient pu profiter de l'enseignement spécial qui y est donné.

Au début de la séance, M. Pellat présente quelques observations importantes au sujet de la division décimale de l'heure dont il est actuellement question, et sur les mesures qu'il convient de prendre en cette occurrence.

Il rappelle qu'une commision officielle composée presque exclusivement d'astronomes, de géographes et d'officiers de marine, a été nommée dans le but de décider s'il y a lieu de modifier le système actuellement en usage pour la division du temps et de la circonférence.

Dans sa séance du 17 mars dernier cette commission a adopté les résolutions suivantes :

1° La durée du jour serait divisée en 24 heures, comme actuellement ;

2° La durée de l'heure serait divisée en 100 parties égales, qui à leur tour seraient aussi divisées en 100 parties égales.

Cette mesure apporterait certainement une grande simplification dans les calculs qu'ont à effectuer les astronomes, mais elle est de nature à entraîner des perturbations considérables dans la plupart des autres branches de la science, notamment la physique et la mécanique. En effet, toutes les unités de mesure, basées sur le système C. G. S., sont établies en adoptant comme unité de temps la seconde sexagésimale. Si cette unité disparaît de l'usage ordinaire, il est certain que les unités dérivées du système C. G. S ne tarderont pas à ne présenter qu'une valeur pratique et scientifique toute relative et, par conséquent, à disparaître de l'usage. Toutes les unités seraient dans ce cas, notamment l'ampère, le volt, le watt, le cheval-vapeur, etc.

Les physiciens, les ingénieurs, les électriciens doivent donc se préoccuper de la situation qui serait créée si les résolutions précédentes étaient sanctionnées par la loi, et d'étudier s'il n'y a pas lieu d'intervenir auprès des pouvoirs publics dans le but de retarder la modification projetée ou d'en empêcher totalement l'application s'il était reconnu que les inconvénients seraient plus graves que les avantages.

La Société française de physique s'est déjà émue de cet état de choses ; elle a nommé une commission chargée d'étudier le plan de campagne ; elle a envoyé une circulaire à tous ses membres, leur demandant leur avis pour ou contre l'adoption d'une nouvelle division du temps.

M. Pellat demande que la Société internationale des électriciens agisse de même et très rapidement, afin que les vœux des intéressés

puissent parvenir à qui de droit en temps utile ; on pourrait tout d'abord demander que de nouveaux membres représentant les physiciens, électriciens, ingénieurs, fussent adjoints à la commission officielle.

A la suite de cette communication, l'assemblée décide d'agir dans le sens indiqué par M. Pellat. Il sera demandé à M. Mascart s'il veut bien accepter la tâche de représenter les intérêts des électriciens.

M. d'Arsonval expose ensuite le résultat de ses recherches sur l'action physiologique et thérapeutique des courants à haute fréquence.

La première partie de ces recherches a été présentée à la Société des électriciens en avril 1892 et analysée dans *la Lumière électrique* à la même époque [1]; elle s'arrêtait à l'emploi des très hautes fréquences, car on n'avait jusqu'alors eu de moyen pratique de les engendrer.

Les physiologistes et les médecins employaient l'électricité, mais étaient dans l'incertitude relativement à la valeur exacte des effets produits par un courant donné ; il fallait connaître la caractéristique de l'excitation et définir l'unité d'excitation. M. d'Arsonval avait depuis de longues années entrepris des recherches dans ce sens; il imagina un appareil qui a été décrit dans l'article précité et qui lui permettait d'engendrer des ondes électriques dont la forme nettement définie était inscrite graphiquement sur un cylindre, en même temps que la contraction musculaire. Il put ainsi déterminer exactement l'action physiologique produite par une excitation électrique provenant d'une onde unique de forme donnée. Il put ainsi formuler la loi qui régit ces phénomènes, à savoir que l'intensité d'excitation est proportionnelle à la rapidité de variation de potentiel au point excité.

Il étudia ensuite ce qui se produisait lorsque l'excitation était reproduite à intervalles de plus en plus rapprochés [2]. Pour cela il construisit le minuscule alternateur suivant : un noyau cylindrique en fer doux pouvant tourner rapidement autour de son axe était muni d'un enroulement inducteur et portait deux larges joues à ses deux extrémités; chacune des joues était percée de petites ouvertures dans lesquelles on pouvait introduire de petites fiches en fer doux perpendiculaires au plan des joues et avançant l'une vers l'autre sur les deux épanouissements polaires; la longueur des fiches était telle qu'un faible intervalle séparât leurs extrémités en regard; en mettant en place un plus ou moins grand nombre de fiches on pouvait à volonté modifier le nombre de pôles inducteurs. Le circuit induit était simplement formé d'une double boucle de fil isolé.

M. d'Arsonval put ainsi reconnaître que l'intensité d'excitation commençait à augmenter avec la fréquence jusque vers 2 500 ou 3 000 excitations par seconde, où elle passait par un maximum; ensuite elle allait en décroissant avec la fréquence et pour 6 000 alternances par seconde, elle était moins intense que pour 400 ou 500. Il était évident, comme l'annonça alors M. d'Arsonval, qu'aux très grandes fréquences l'insensibilité des muscles envisagés serait absolue.

Vers cette époque, les mémorables expériences de Hertz, puis de Tesla, d'Elihu Thomson vinrent rendre possible l'emploi des hautes fréquences. M. d'Arsonval adopta en le modifiant le dispositif Tesla qui permettait d'employer de très grandes intensités. Il supprima complètement les bobines immergées dans l'huile. Le courant alternatif provenant d'un alternateur spécial ou pris simplement sur le réseau d'éclairage est transformé dans un transformateur Labour, au potentiel de 15 000 volts ; les deux extrémités du circuit secondaire du transformateur sont reliées respectivement aux armatures intérieures de deux bouteilles de Leyde dont les armatures extérieures sont réunies par un solénoïde en fil de cuivre nu, ayant une vingtaine de tours. Un excitateur est disposé entre les deux armatures intérieures. Lors-

(1) Voir t. XLIV, p. 165 et 207, 23 et 30 avril 1892.

(2) Il convient d'ajouter la polarisation en employant des ondes alternatives.

que l'appareil est en marche, une série ininterrompue d'étincelles se forme entre les branches de l'excitateur et le solénoïde est parcouru par des courants alternatifs à haut potentiel. C'est sur ce solénoïde qu'on capte les courants d'excitation. On obtient ainsi des différences de potentiel considérables. En outre, en cas de rupture du diélectrique des bouteilles, le secondaire du transformateur est mis en court circuit par le solénoïde, en sorte que l'expérimentateur ou le patient n'est soumis qu'à une différence de potentiel trop faible pour être dangereuse.

Un des points les plus difficiles à résoudre était le soufflage de l'étincelle entre les branches de l'excitateur, nécessaire pour éviter la formation d'un arc et obtenir les hautes fréquences. On avait employé dans ce but soit un courant d'air, soit, comme Elihu Thomson, le soufflage magnétique. M. d'Arsonval est parvenu au même résultat en introduisant dans le primaire du transformateur une bobine de self-induction convenablement réglée. Cette bobine dont l'action n'est pas évidente à première vue produit un soufflage parfait de l'étincelle [1].

Pour éviter l'échauffement des condensateurs dans ces expériences qui mettent en jeu des courants très intenses et durent souvent plusieurs semaines de suite, il a fallu prendre des précautions spéciales. Il faut dans ce but éviter toute trace d'eau entre les armatures des condensateurs; les feuilles d'étain qui forment ces armatures ne sont pas collées sur le verre, mais simplement appliquées avec du suif purifié. Dans d'autres expériences, M. d'Arsonval a obtenu de bons résultats en remplissant l'intérieur des bouteilles avec de l'eau couverte d'huile de vaseline.

Dans ces conditions on constate que le corps humain peut être traversé impunément par les plus puissantes décharges de l'appareil à haute fréquence, sans en recevoir aucune sensation. M. d'Arsonval le prouve à l'assistance en allumant à travers son corps trois lampes de 125 volts montées en tension; on peut en allumer ainsi huit ou dix et même davantage.

Ces expériences ont conduit M. d'Arsonval à la découverte du phénomène qu'il a appelé auto-conduction [1]. Si l'on remplace le petit solénoïde qui relie les armatures extérieures des bouteilles de Leyde par un autre solénoïde de plus grand diamètre, celui-ci produit dans tout son voisinage une puissante action inductrice. Un simple tour de fil conducteur d'un diamètre de 5 mm placé parallèlement aux spires du solénoïde est parcouru par des courants suffisamment intenses pour qu'une lampe de 15 volts soit brillamment allumée; une autre lampe de 2 ampères et 25 volts peut être allumée lorsque le fil induit est à 2 mm du solénoïde. En plaçant le fil inducteur sur le solénoïde, on peut allumer une lampe de 110 volts.

Il est évident que tous les corps conducteurs soumis à l'influence du solénoïde sont de même parcourus par des courants fermés sur eux-mêmes. Le corps humain se trouve dans ce cas et, pour le prouver, il suffit de se placer dans le solénoïde et de tenir entre les mains les extrémités de fils reliés aux bornes d'une lampe à incandescence, celle-ci s'allume brillamment.

Pour obtenir de bons résultats il faut abaisser la résistance de la peau et, pour cela, il suffit de tremper pendant quelque temps les mains dans de l'eau chaude contenant 1 p. 100 de potasse. La résistance du circuit comprenant les bras est ainsi abaissée à 600 ohms environ.

Pour soumettre le patient à l'action de ces courants, il suffit de le placer dans l'intérieur d'un grand solénoïde d'une vingtaine de tours.

Les actions physiologiques exercées par ces courants produisent des modifications profondes dans l'organisme; la plus importante est d'augmenter considérablement les

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 183, 25 juillet 1896.

[1] Voir *La Lumière Électrique*, t. XLIX, p. 136, 22 juillet 1893.

combustions internes; la quantité d'oxygène absorbée par un homme pendant l'unité de temps et la quantité correspondante d'acide carbonique expulsé sont doublées par rapport à l'état ordinaire (pour M. d'Arsonval, en 1 heure, 17 à 21 litres d'oxygène à l'état normal et 37 litres sous l'excitation électrique). La même action s'observe chez les animaux.

La production de chaleur est aussi augmentée dans les mêmes proportions; mais, chose remarquable, la température du corps humain n'est pas sensiblement augmentée (à peine quelques dixièmes de degrés), par suite des radiations calorifiques plus actives, ainsi que M. d'Arsonval l'a reconnu expérimentalement.

Un autre effet remarquable de ces courants est l'action particulière qu'ils exercent sur le système nerveux vaso-moteur; ils peuvent produire une augmentation de la pression du sang dans les artères qui, chez l'homme, peut atteindre de 6 à 7 cm de mercure.

On avait déclaré que les courants à haute fréquence circulent exclusivement à la surface : ce n'est pas toujours exact; ils pénètrent profondément dans le corps humain, ce qui tient à la moindre conductivité de celui-ci, les courants ne se portant à la surface que pour les corps dont la résistance spécifique est de l'ordre de celle des métaux; le calcul l'indique, du reste, et M. d'Arsonval l'a reconnu expérimentalement en prenant des dérivations, à différentes distances de l'axe, dans un cylindre d'eau salée parcouru par ces courants.

L'insensibilité du système nerveux sensitif aux courants à toute fréquence n'est pas un cas particulier; les nerfs optiques, auditifs, offrent des limites de sensibilité absolument analogues, nos yeux ne percevant que les ondes lumineuses et nos oreilles n'entendant que les sons produits par des vibrations dont la fréquence est comprise entre des limites assez resserrées.

En thérapeutique, on peut appliquer les courants à haute fréquence de plusieurs façons différentes.

1° Application directe, qui peut être employée pour des intensités élevées, jusqu'à 1 et 1,5 ampères. Il se produit une modification profonde de l'excitabilité du système nerveux; après quelques secondes d'application des courants, les nerfs sont devenus presque inexcitables; ils reprennent peu à peu leurs propriétés premières; il s'est produit une sorte d'anesthésie.

2° Le procédé le plus employé en clinique consiste à relier aux deux pôles du circuit d'abord l'individu en expérience, puis un conducteur isolé qui forment ainsi comme les deux armatures d'un condensateur; une forme commode de l'appareil représente une sorte de chaise longue. L'intensité du courant appliqué peut atteindre jusqu'à 700 au 800 milliampères.

Suivant le Dr Apostoli, les effets ainsi produits seraient les mêmes qu'avec le solénoïde, mais ils seraient plus intenses.

Les maladies qui peuvent le mieux être traitées par ces procédés, sont celles qui proviennent d'un ralentissement des combustions internes, notamment la goutte, les rhumatismes, le diabète (1). Les docteurs Apostoli et Charrin ont fait à ce sujet de nombreuses observations chimiques toutes très probantes. M. d'Arsonval cite le cas d'un diabétique rendant 11,3 litres d'urine par jour, chaque litre contenant 54 gr. de sucre. Au bout de 42 jours de traitement, le volume d'urine rendu n'était plus que de 7 litres et au total 180 gr. de sucre par jour. La pression artérielle qui n'était que de 15 cm de mercure au début, était de 25 cm au bout de 5 jours de traitement; le poids du malade augmentait et la toxicité de l'urine tendait à reprendre sa valeur normale.

M. d'Arsonval explique ensuite l'action des courants à haute fréquence sur les infiniment petits, puis sur leurs toxines (2). Ces expériences qui amèneront probablement une véritable

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 186; 25 juillet 1896.

(2) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 83, 11 juillet 1896; t. IX, p. 416, note, 28 novembre 1896.

révolution dans les méthodes employées pour traiter un grand nombre de maladies, ont été décrites précédemment dans nos colonnes ; nous n'y insisterons pas aujourd'hui ; elles feront prochainement, ici même, l'objet d'une étude spéciale, détaillée.

M. d'Arsonval termine en décrivant les appareils construits par la maison Gaiffe et Cie, pour l'application de ces phénomènes à la thérapeutie [1]. G. P.

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE DE LONDRES

Séance du vendredi 26 mars.

Cette séance qui a eu lieu sur l'invitation du professeur S.-P. Thomson, au Technical College, à Finsbury, débute par une communication de M. Rollo Appleyard sur *les cohereurs* [2] *liquides et les conducteurs solides*, accompagnée des expériences suivantes :

a. Un tube de verre contenant du mercure et de l'huile de paraffine est secoué jusqu'à ce que le mercure se résolve en sphéroïdes très petits.

La résistance électrique de ces chaînes de sphéroïdes est alors de plusieurs méghoms. Si l'on soumet le tube à l'action directe d'un courant ou à l'action d'une étincelle ou d'une ondulation herzienne, les sphéroïdes se rassemblent en larges gouttes ; en même temps la résistance tombe à une faible fraction d'ohm.

b. On forme une émulsion instable en secouant énergiquement un mélange d'eau et d'huile de paraffine dans un tube de verre, tube que l'auteur appelle « tube à pluie » ; l'huile peut être colorée par de l'orcanette. Par électrisation, l'eau en suspension dans l'huile est immédiatement précipitée à travers celle-ci ; l'auteur rapproche ce phénomène de la précipitation brusque et abondante de l'eau atmosphérique sous forme de pluie après un coup de tonnerre.

c. Un mélange d'eau et d'huile de paraffine est versé dans une cuvette à photographie, de manière à en recouvrir le fond ; on y verse ensuite un peu de mercure qui se sépare en gouttelettes ; deux de ces gouttelettes sont reliées aux pôles d'une pile donnant une différence de potentiel d'environ 200 volts et sur le circuit est disposée une clef de renversement. Une fermeture brusque du courant produit une déformation des globules, principalement de celui qui est relié au pôle négatif. Si l'on maintient le courant fermé, on voit partir de ce dernier globule un long « tentacule » allant rejoindre le globule positif. Lorsque ce tentacule se sépare en sphéroïdes, de ceux-ci partent des « doigts » dirigés vers le globule positif et qui, lorsque le courant est maintenu, se joignent les uns aux autres, montrant ainsi le mécanisme du phénomène observé dans l'expérience (*a*). Lorsqu'on manœuvre la clef de renversement de manière à avoir des courants alternativement dans un sens et dans l'autre, les mouvements du « doigt » d'un globule changent de sens en même temps que le courant et peuvent être interprétés comme les signaux Morse. Lorsqu'on produit une série de courants de faible durée, mais de même sens, l'un ou l'autre des globules, suivant le sens, forme une sorte de « chenille » se mouvant au fond de la cuvette.

A la suite de cette communication, le professeur Ramsay dit avoir fait une expérience présentant quelque analogie avec les précédentes et ayant pour but de faciliter par l'électricité la séparation de la crème du lait. Avec un courant produit par une différence de potentiel de 8 à 9 volts il observa en effet une séparation plus rapide de la crème, mais celle-ci ne tardait pas à aigrir.

Le professeur Fitzgerald pense que les phénomènes observés dans l'expérience (*c*)

---

[1] Voir « la mesure des courants de haute fréquence », par E. Meylan, *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 68, 11 juillet 1896.

[2] Ce mot (en anglais coherer) a été employé pour la première fois par M. Lodge pour désigner les tubes à limaille dont la résistance diminue sous l'action des ondes électriques, et indiquer ainsi que la cohésion des particules métalliques paraît augmenter sous l'action de ces ondes. Voir *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 135, 19 janvier 1895.

sont dus au passage du courant, non aux charges électrostatiques, et pour cette raison demande quelle était l'intensité du courant; il ajoute que sans aucun doute les mouvements observés sont dus à des variations de la constante capillaire.

M. R. Appleyard répond que, en raison de la mobilité des globules, il n'est pas commode de définir le circuit suivi par le courant, mais que néanmoins il essayera de mesurer l'intensité dans des cas particuliers; répondant à une demande du président, M. Shelford Bidwel, il ajoute que dans l'expérience (*a*) le tube était maintenu horizontalement et que l'opération durait environ 10 minutes; volumes égaux d'eau et d'huile remplissant aux trois quarts le tube de verre donnent de bons résultats.

Le professeur Dalby présente divers modèles mécaniques illustrant différents degrés de liberté de corps ayant un certain nombre de points fixes.

Le professeur S.-P. Thompson expose plusieurs appareils parmi lesquels un modèle mécanique montrant que deux mouvements circulaires opposés, de même période et de même amplitude, donnent un mouvement résultant rectiligne, un autre modèle montrant que deux mouvements harmoniques simples de même amplitude, de même période et ayant une différence de phase convenable donnent un mouvement résultant circulaire, et un modèle illustrant la propagation d'une onde transversale.

J. B.

Quelques types de tubes producteurs de rayons X.

Dans la planche ci-jointe, M. Séguy a rassemblé les principaux types de tubes employés pour la production des rayons Rœntgen. Les

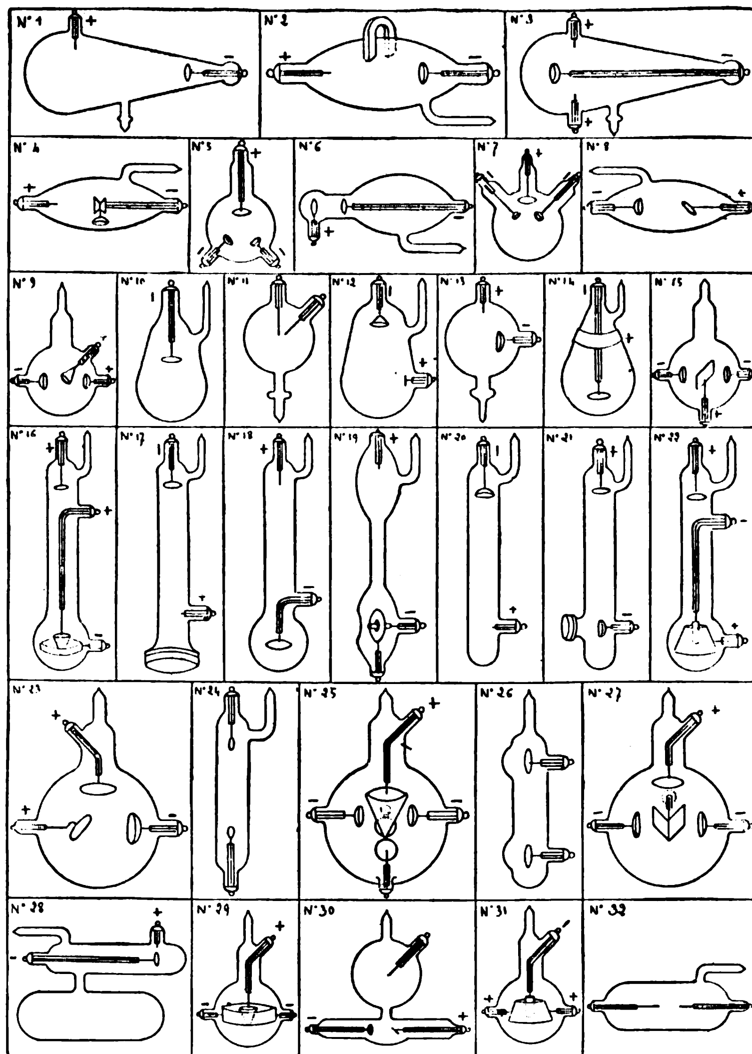


Fig. 1. — Tableau des différentes formes de tubes producteurs de rayons X.

1 et 2, Crookes; 3, Séguy; 4, Wood; 5, Séguy; 6, Chabaud et Hurmuzescu; 7, Séguy; 8, Thomson; 9, Séguy; 10, d'Arsonval; 11, Séguy; 12, Puluj; 13, Séguy; 14, d'Arsonval; 15, Le Roux; 16, 17 et 18, Séguy; 19, de Rufz; 20, Crookes; 21, 22 et 23, Séguy; 24, Rœntgen; 25, Brunet et Séguy; 26 et 27, Le Roux; 28, Colardeau; 29, Séguy; 30, Colardeau; 31, Séguy; 32, Rœntgen.

tubes 1, 2, 3, 4, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 20, 21, 24, 26, 28 et 32, donnent naissance à ces rayons par fluorescence des parois des tubes frappées par les rayons cathodiques; les 5, 8, 9, 15, 16, 23, 25, 27, 29 et 30 sont du genre focus, enfin dans les trois autres, 19,

22 et 31, les rayons Rœntgen sont produits simultanément par le bombardement des parois et d'une lame anticathodique par les rayons cathodiques.

Sur l'emploi de l'électromètre à quadrants comme appareil différentiel.

Par Riccardo Arno.

Dans ses « méthodes de mesures des grandeurs électriques » (1), M. Ricardo Arno fait un emploi fréquent de l'électromètre à quadrants comme d'un appareil différentiel.

Soient A, B, C (fig. 1) trois points d'un

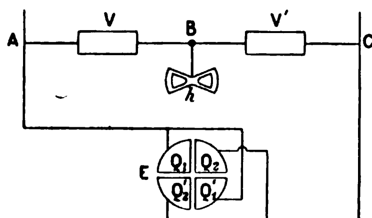


Fig. 1.

circuit aux bornes duquel agit une certaine différence de potentiel. Si l'on fait varier les deux différences de potentiel $V_A - V_B$, $V_B - V_C$ existant entre les points A et B d'une part et A et C de l'autre, il est toujours possible de constater avec un électromètre à quadrants, par une méthode de réduction au zéro, l'égalité des deux différences de potentiel $V_A - V_B$, $V_B - V_C$.

Mettons en effet les deux points A et C en communication respectivement avec les deux couples de quadrants apposés de l'électromètre et le point B avec l'aiguille mobile h. Le moment du couple de déviation de cette dernière sera :

$$W = k\,[(V_A - V_B)^2 - (V_B - V_C)^2].$$

On voit donc que la condition nécessaire et suffisante pour que W soit nul est que l'on ait :

$$V_A - V_B = \pm (V_B - V_C). \qquad (1)$$

Il est facile de montrer que cette méthode est encore applicable lorsque la différence de potentiel entre les points A et B est alternative, sinusoïdale ou non.

Soit w le moment à un instant donné du couple résultant de l'action de l'aiguille sur les quadrants et v_a, v_b, v_c les potentiels au même instant aux points A, B, C; on a alors :

$$w = k\,[(v_a - v_b)^2 - (v_b - v_c)^2].$$

Multiplions par dt, intégrons pendant la durée T d'une période, puis divisons les deux membres par T, nous aurons :

$$\frac{1}{T}\int_0^T w\,dt = \frac{k}{T}\left[\int_0^T (v_a - v_b)^2 - \int_0^T (v_b - v_c)^2\,dt\right]$$

Si W est la valeur moyenne du moment du couple de déviation, on a donc encore :

$$W = k\,[(V_A - V_B)^2 dt - (V_B - V_C)^2],$$

et par suite l'égalité (1) entraîne bien encore celle des deux différences de potentiel efficaces entre A et B, et B et C.

Applications. — L'auteur déduit de là une méthode très simple pour mesurer la capacité d'un condensateur destiné à être employé sur un circuit à courant alternatif, avec un courant de même fréquence pratiquement sinusoïdal.

Le condensateur est disposé (fig. 2) en série avec une boîte de résistance sans induction aux bornes d'une source de courant alternatif. La palette mobile de l'électromètre est mise en communication avec le point B de jonction du condensateur c et de la résistance r (indiquée par erreur par V sur la figure. Une des paires de quadrants $Q_1 Q'_1$ est réunie au point A et l'autre $Q_2 Q'_2$ au point C.

(1) *Metodi di misura delle grandezze elettriche*, 1897.

En général l'aiguille prendra une certaine déviation, mais il sera toujours possible, en

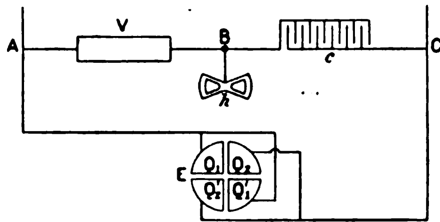


Fig. 2.

modifiant la résistance r, de trouver une valeur de celle-ci pour laquelle la palette reviendra à sa position initiale. De cette valeur on peut déduire celle de la capacité.

Soit en effet I l'intensité du courant, on peut écrire en appelant V_A, V_B, V_C les potentiels aux points A, B, C :

$$V_A - V_B = rI$$

$$V_B - V_C = \frac{1}{2\pi nc} I,$$

où n est la fréquence du courant alternatif.

Lorsque l'aiguille est au zéro on a :

$$V_A - V_B = V_B - V_C,$$

on en déduit donc immédiatement :

$$c = \frac{1}{2\pi rn}.$$

La résistance r étant exprimée en ohms, c sera exprimé en farads; pour avoir la capacité en microfarad il suffit de multiplier l'expression de c par 10^6.

Cette méthode n'est évidemment qu'approchée lorsque le courant employé n'est pas sinusoïdal [1].

[1] La méthode peut également être employée dans le cas d'un condensateur électrolytique branché sur un courant alternatif. La résistance apparente étant dans ce cas, en désignant par r' la résistance du condensateur,

$$\sqrt{r'^2 + \frac{1}{4\pi^2 n^2 c}}.$$

l'équation de réduction au zéro sera

$$\sqrt{r'^2 + \frac{1}{4\pi^2 n^2 c^2}} = r,$$

d'où pour la valeur de c

$$c = \frac{1}{2\pi n (r^2 - r'^2)^{\frac{1}{2}}}.$$

F. G.

Cette méthode peut également servir à mesurer le coefficient de self-induction d'une bobine.

Si l'on remplace le condensateur par une bobine de self-induction et si on désigne par r' sa résistance et par L son coefficient de self-induction, on aura lorsque l'aiguille reste au zéro :

$$\sqrt{r'^2 + 4\pi^2 n^2 L^2} = r,$$

d'où :

$$L = \frac{1}{2\pi n} (r^2 - r'^2)^{\frac{1}{2}}.$$

Inversement connaissant la capacité et le coefficient de self-induction d'une bobine, les méthodes précédentes peuvent être employées pour mesurer la fréquence d'une différence de potentiel alternative donnée. F. G.

Influence des tractions et des compressions sur les propriétés thermo-électriques et magnétiques des métaux ;

Par G.-S. Meyer [1].

L'auteur se proposait de chercher si le point d'inversion de Villari, trouvé pour le fer et le nickel sur la courbe qui représente l'aimantation en fonction de la traction, existe aussi pour le cobalt. En même temps il a été amené à étudier l'influence des tractions et des compressions sur les propriétés thermo-électriques des métaux.

Expériences. — Le champ magnétique employé a toujours été exclusivement le champ terrestre : les échantillons de métaux

[1] *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 134-155.

étaient portés au rouge pour éliminer toute trace d'aimantation antérieure. Les mesures étaient faites avec un magnétomètre à miroir disposé en face de l'extrémité inférieure du fil à la hauteur, de son pôle et à l'ouest.

Le galvanomètre est un galvanomètre de Du Bois et Rubens dont la sensibilité peut varier de 1 à 10 10^{-9} ampère pour une division de l'échelle. La sensibilité maxima correspond à une résistance de 20 ohms vis-à-vis de laquelle sont négligeables les faibles variations que la traction fait subir à la résistance du fil.

Les pièces en fer de l'appareil étaient assez éloignées du magnétomètre pour ne pas altérer le champ magnétique, à l'endroit où se trouve celui-ci, de plus de 2 p. 100. Les petits mouvements et les courants thermo-électriques qui peuvent se produire au moment où on tend le fil n'avaient aucune influence sur l'aiguille du galvanomètre.

Les soudures se trouvent l'une à la température de 100°, l'autre à la température de la chambre.

Une fois la température rendue constante, on exerce sur le fil une traction mesurée au dynamomètre ; on fait trois lectures au galvanomètre en changeant deux fois le sens et entre temps on fait la lecture du magnétomètre.

On suppose que le pôle du fil le plus éloigné du magnétomètre n'exerce aucune action sur celui-ci pour déduire de cette lecture la variation de l'aimantation en unités absolues.

Les expériences ont porté sur des fils de fer, d'acier, de nickel, de cobalt, de cadmium, de cuivre d'argent, de laiton, d'aluminium, d'or et de platine.

Résultats. — Pour le fer, l'acier et le nickel, les observations confirment celles des précédents expérimentateurs, Ewing et Heydweiller, à part un point cependant. Ewing a trouvé que l'hystérésis dans la partie de la courbe où le courant thermo-électrique va du métal tendu au métal normal par la soudure chaude est constamment en sens contraire de l'hystérésis élastique ; M. Meyer trouve le résultat opposé, sans pouvoir l'expliquer.

Le point d'inversion du cobalt n'a pas été atteint dans les expériences ; cependant la forme de la courbe obtenue, analogue à celle du fer en deçà du point de Villari, laisse penser que cette inversion serait réalisée pour des tractions un peu plus fortes que celles qui ont été employées. Cependant l'une des courbes obtenue avec un fil qui avait été porté au rouge étant tendu horizontalement dans la direction Est-Ouest, montre le point de Villari : la variation du magnétisme est d'ailleurs très faible. (0,06 et 0,11 C G S pour une aimantation primitive de 3,53 et 3,28.)

Les propriétés thermoélectriques du cobalt paraissent liées aux propriétés magnétiques d'une manière plus régulière et plus simple que celles du fer ne le sont entre elles.

Pour le nickel, la courbe thermo-électrique obtenue avec les grandes tractions présente une grande analogie de forme avec la courbe d'aimantation. Un autre échantillon a été soumis à des tractions et à des compressions ; le courant va du nickel normal au nickel comprimé : la force électromotrice est sensiblement proportionnelle à la charge et l'hystérésis est dans le même sens que le retard d'élasticité.

Les courbes magnétiques de traction et de compression ont la même allure. Les vibrations augmentent d'abord la force électromotrice ; mais cette influence disparaît quand le fil a parcouru plusieurs cycles. La courbe thermo-électrique ne présente rien de particulier dans la région qui correspond au point de Villari dans la courbe magnétique.

Pour tous les autres métaux, à l'exception de l'aluminium, le courant thermo-électrique va à travers la soudure chaude du métal tendu au métal normal.

Conclusions. — La force électromotrice thermo-électrique produite dans les métaux non magnétiques par la traction est, avec une grande approximation, proportionnelle à la

charge et cette force électromotrice ne subit aucune hystérésis, dont l'effet surpasse les erreurs d'observation.

Dans les métaux magnétiques, la force électromotrice thermo-électrique engendrée par la traction ne peut être en relation simple avec la charge, parce que la traction provoque en même temps une variation des propriétés magnétiques, or l'influence de cette variation magnétique sur la force électromotrice thermo-électrique peut être du même ordre de grandeur que celle de la traction. La force électromotrice sera en même temps fonction de la longueur du fil l et de son aimantation m; on devra donc écrire :

$$de = \frac{\partial e}{\partial l} dl + \frac{\partial e}{\partial m} \frac{dm}{dl} dl,$$

puisque m dépend aussi de l.

D'après les expériences effectuées sur le nickel et le cobalt désaimantés aussi bien que possible, on peut écrire :

$$\frac{\partial e}{\partial l} = a = \text{const.}$$

De même :

$$\frac{dm}{dl} = -c_1 = \text{const.}$$

Mais aucune détermination de $\frac{\partial e}{\partial m}$ n'a été faite sur le cobalt. Battelli a mesuré $\frac{\partial e}{\partial m}$ pour le nickel; il a trouvé ce coefficient d'abord constant; puis la force électromotrice continuait à croître après que le fil fut saturé, ce qui semble de nature à jeter le doute sur la valeur de ces mesures. Pour le fer, Ewing trouva que $\frac{\partial e}{\partial m}$ diminue en même temps que m ; d'après ses expériences, il paraît qu'on pourrait écrire :

$$\frac{\partial e}{\partial m} = c_2 m.$$

En appliquant cette formule au cobalt et au nickel, on aurait alors

$$\frac{de}{dl} = a - bm,$$

en posant $b = c_1 c_2$.

La constante c_2 et par suite la constante b a le même signe que a, car Tomlinson a trouvé que le courant thermo-électrique va par la soudure chaude du cobalt aimanté au cobalt naturel. Thomson et Battelli ont trouvé l'inverse pour le nickel.

Cette équation conduirait alors aux conclusions suivantes :

Dans le cas des aimantations moyennes, le courant produit par la traction est la différence du courant produit par la déformation élastique seule et par la diminution du magnétisme qu'elle entraîne.

Quand l'aimantation est faible, le courant produit par sa variation devient négligeable vis-à-vis du premier, c'est pourquoi la courbe thermoélectrique n'a pas de point d'inversion analogue au point de Villari sur la courbe magnétique.

Tant que l'aimantation est assez forte, c'est le terme bm en provenant qui domine : m diminuant quand la tension croît, a peut devenir égal à bm ; cette condition correspond à un maximum, ensuite le courant dû à la déformation élastique subsiste seul.

Dans la région où l'influence de la traction et celle du changement magnétique sont du même ordre de grandeur, à un cycle magnétique (courbe fermée) correspond un cycle thermo-électrique, ce que du reste prouvent toutes les expériences.

Les chiffres suivants donnent une idée de la grandeur de ces phénomènes :

COBALT

Aimantation.	Effet. Magnétique.	Effet. Thermo-électrique.
3,64 C. G. S.	Point de Villari.	43,34 10^{-8} volt.
11,5 »	— 0,19 C. G. S.	32,77 »
134 »	— 1,82 »	23,80 »
287 »	— 2,44 »	Point d'inversion.

NICKEL

Aimantation.	Effet. Magnétique.	Effet. Thermo-électrique.
2,89 C. G. S.	Point de Villari.	196,9 10^{-8} volt.
33,4 »	— 1,56 C. G. S.	131,4 »
200 environ.	—	70,5 »

M. L.

Mesures de la température dans les tubes de Geissler;

Par R. Wood (1).

Divers expérimentateurs parmi lesquels E. Wiedemann, Hittorf, Paalzow et Neesen, ont montré que la température du gaz dans les tubes de Geissler est bien inférieure à celle du rouge, résultat auquel le calcul conduisit aussi Warburg. Seulement ces mesures se rapportent à la température du tube prise en bloc et non à la température des diverses régions.

Les mesures effectuées par M. Wood ont précisément pour objet principal de déterminer les températures relatives dans les différentes régions des lueurs, spécialement dans les strates. Le tube est excité bien entendu par un courant constant dont la source est une batterie de 600 accumulateurs (environ 1 250 volts), réglé par une résistance variable (une colonne d'une dissolution d'iodure de cadmium dans l'alcool amylique) et mesuré par un galvanomètre à torsion.

L'appareil thermométrique est un bolomètre formé par une boule ou une spirale de fil fin en platine iridié. On détermine d'abord la température moyenne du tube pendant la décharge en mesurant au moyen d'un manomètre très sensible, à acide sulfurique, l'accroissement de pression du gaz. L'élévation de température moyenne ainsi trouvée est de 19°,70.

Il est à remarquer que les gaz sous la faible pression qui règne dans les tubes de Geissler ont une conductibilité assez grande pour que, dans la décharge par lueurs, la température devienne constante au bout d'une fraction de seconde (Warburg). Après la cessation de la décharge, le gaz se refroidit aussi rapidement.

Avec un manomètre présentant peu d'inertie, constitué par une bulle de gaz, enfermée entre deux gouttes d'acide sulfurique, et dont la pression est égale à celle qui règne dans le tube, on constate les oscillations de température, qui accompagnent les décharges intermittentes, dont la fréquence n'est pas trop élevée.

Les mesures bolométriques peuvent se partager en deux séries : dans les unes le bolomètre est fixe et on cherche la relation entre l'élévation de température et l'intensité du courant; dans les autres, le bolomètre peut au contraire se déplacer dans l'intérieur du tube pour explorer les diverses régions.

La plupart des expériences ont été faites dans l'azote préparé en faisant passer de l'air sur du phosphore chauffé, et desséché ensuite par l'anhydride phosphorique.

L'appareil galvanométrique est réglé de manière que dans les limites des expériences l'élévation de température puisse être regardée comme proportionnelle aux déviations : le bolomètre est ensuite étalonné par comparaison avec un thermomètre normal gradué en 1/10.

Il faut se demander d'abord jusqu'à quel point le fil prend la température du gaz ambiant. Il est nécessaire pour en décider de faire des expériences comparatives avec des fils bolométriques de dimensions différentes. Un fil de platine iridié ayant 0,035 mm de diamètre et une bande de platine pur ayant 0,001 mm d'épaisseur, 1,5 cm de longueur et 1 mm de largeur, ont donné des résultats concordants. La bande de platine prend plus vite la température et son coefficient bolométrique est plus grand, ce qui la rendrait plus avantageuse, si sa présence ne produisait pas de perturbation dans la décharge. On vérifie également que la décharge n'influe pas directement sur le galvanomètre.

Les premières mesures ont porté sur la lueur anodique non stratifiée; la pression du gaz est maintenue constante malgré l'élévation de température, en laissant le tube communiquer avec la pompe à vide.

L'élévation de température est relativement peu considérable comme il a été dit :

(1) *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 238-252.

Pression, 0,3 mm.

i	t	$\frac{t}{i}$
0,0015	13°	87
0,0018	15°,7	87
0,0025	19°,5	78
0,0036	25°,7	71

Pression, 1,8 mm.

i	t	$\frac{t}{i}$
0,0007	11°,5	164
0,0015	21°,7	145
0,0025	34	136
0,0032	42°,2	132

Pression, 2 mm.

i	t	$\frac{t}{i}$
0,0012	19°	158
0,0032	45°	141

Pression, 3 mm.

i	t	$\frac{t}{i}$
0,0010	23°	230
0,0020	40°	200
0,0032	59°,5	186

D'après la théorie de Warburg le quotient $\frac{t}{i}$ devrait être proportionnel à la chute du potentiel. En réalité il diminue quand l'intensité augmente, ce qui tient en grande partie à ce que la pression du gaz est maintenue constante. Lorsque le tube ne communique pas avec la pompe, les expériences donnent pour ce quotient une valeur à peu près constante.

Quand on renverse le courant sans changer la position du bolomètre, celui-ci se trouve dans la région obscure qui sépare la partie positive de la décharge de la partie négative. L'élévation de température est moindre dans cette région que dans la lueur anodique et le quotient $\frac{t}{i}$ est sensiblement constant.

Pour les mesures faites dans les diverses régions du tube, celui-ci formait la partie supérieure d'un tube barométrique : le bolomètre était porté par un autre tube de verre *c* plus étroit pénétrant dans le premier, dans lequel passaient les fils aboutissant au bolomètre et recourbé à sa partie inférieure de manière que l'extrémité des fils sortît du mercure de la cuvette; un index était fixé au bout du tube et permettait de lire les déplacements sur une règle divisée; faisant connaître ainsi la position du bolomètre dans le tube de Geissler.

Lorsque la lumière anodique n'est pas stratifiée, la température tantôt y est constante, tantôt présente un maximum vers le milieu de la lueur pour décroître ensuite quand on s'approche de la région obscure. Ce maximum persiste quand la décharge commence à se stratifier. Au voisinage de la région obscure de la décharge, la température décroît toujours. Lorsqu'on sort de la lueur anodique, il y a une chute brusque; la température prend une valeur minima au milieu de la région obscure, puis remonte très rapidement quand on entre dans la lueur bleue négative.

La courbe de la figure 1 dans laquelle les

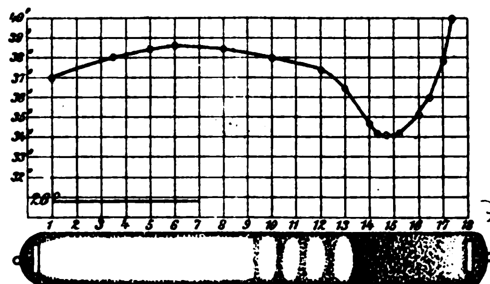


Fig. 1.

abscisses sont proportionnelles aux distances comptées à partir de l'anode et les ordonnées aux élévations de température, représente cette variation : la forme de la décharge est figurée au-dessous (pression 1,5 mm; intensité 0,001 ampères environ).

La figure 2 se rapporte à une expérience

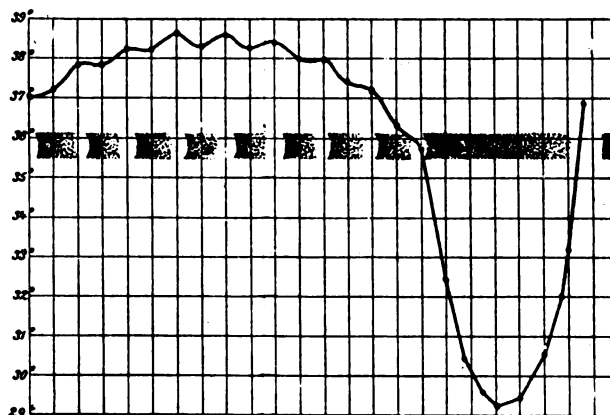


Fig. 2.

dans laquelle la température est à peu près constante dans la région anodique; sur la courbe on aperçoit nettement le point limite entre la lueur positive et la région obscure.

Lorsque la pression est assez faible pour que la lueur anodique se stratifie, on observe

toujours vers le milieu de cette région un maximum de température. En outre on observe des variations périodiques correspondant aux strates. Les strates lumineuses sont plus chaudes que les strates obscures qui les séparent; mais on trouve souvent un endroit où la température ne varie pas quand on passe de l'une à l'autre (fig. 3).

Dans la partie inférieure de la figure 3, on voit l'aspect d'une décharge stratifiée, pour une pression de 0,1 mm; le maximum est moins prononcé qu'aux pressions plus élevées. Des expériences spéciales ont montré que la variation de la température dans les strates est périodique comme le représente la courbe dessinée au haut de la figure; la dif-

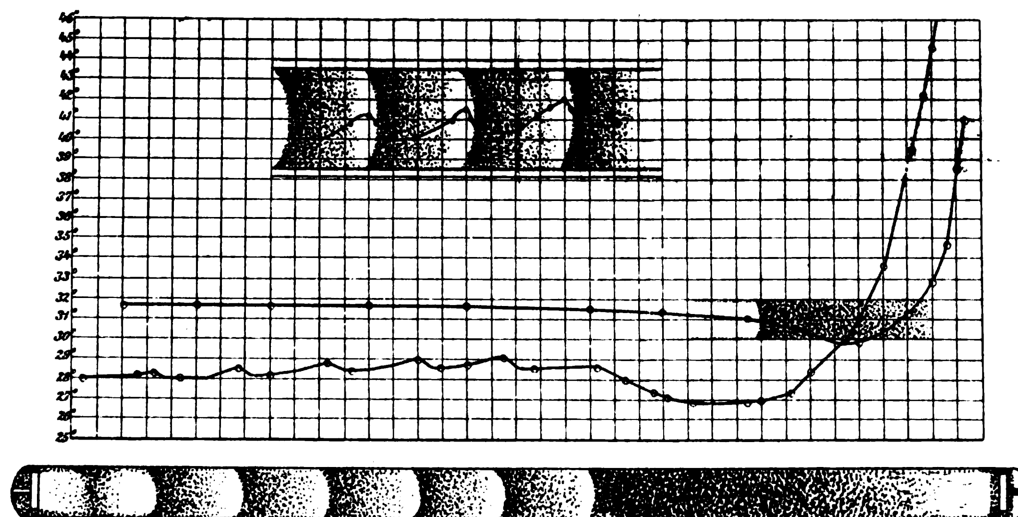


Fig. 3.

férence de température entre deux strates, l'une lumineuse, l'autre obscure est de 0°,5 à 1°,5, suivant la pression et l'intensité.

Il faut signaler en passant que lorsqu'on déplace le fil bolométrique, la surface de la strate paraît refuser de se laisser pénétrer; elle se recule, comme si elle était élastique.

Les mesures effectuées dans l'hydrogène sont beaucoup moins commodes : il est difficile d'entretenir le courant. L'élévation de température est beaucoup moindre que dans l'azote, environ neuf fois moindre dans les mêmes conditions; d'après les calculs de Warburg, elle devrait être dix fois plus petite, la théorie paraît donc se confirmer.

Dans certains cas, on observe aussi, comme l'a fait déjà Wiedemann, une diminution de température en passant de la lueur négative à la région obscure.

M. Wood estime que ces courbes représentent assez exactement l'allure générale des phénomènes, mais que les nombres donnés comportent une incertitude de deux ou trois degrés au moins. M. L.

Méthode simple pour séparer les décharges alternatives d'une bobine d'induction dans un tube vide ;

Par R. Hildebrand [1].

Cette méthode consiste à utiliser les actions bien connues qu'exerce sur la décharge un conducteur voisin isolé ou relié au sol.

Le tube repose par deux supports de bois sur une table que recouvre une feuille de clinquant. Les décharges de la bobine passent dans des plaques de métal, grandes comme la moitié de la main et dont le plan est perpendiculaire à l'axe du tube. Tant que ces

(1) *Wied Ann.*, t. LIX, p. 273-283.

plaques touchent les électrodes, la décharge est stratifiée. Si on les éloigne un peu, on obtient une traînée lumineuse qui ne remplit pas le tube et est sensible à l'action des conducteurs, sauf dans la partie médiane du tube ; cette traînée subsiste même quand il ne se produit pas d'étincelle visible entre les plaques et les électrodes. Tant que le tube est éloigné de tout conducteur, de capacité notable, la traînée lumineuse est très étroite dans le milieu du tube, mais quand on place le tube sur la table, cette traînée prend la forme représentée par la figure 1 ; elle est attirée à

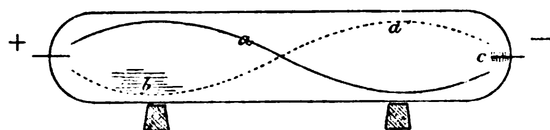


Fig. 1.

une de ses extrémités, repoussée à l'autre. Si le tube repose sur des blocs de bois, on peut en déplaçant ces blocs déplacer, entre certaines limites, l'endroit où l'attraction est maximum et l'endroit où la répulsion est maximum. En *b* et en *c* se montrent aussi quelques lueurs plus faibles ; la lueur *c* paraît analogue à la lumière cathodique et n'est pas sensible à l'approche des conducteurs ; la lueur *b* présente au contraire les mêmes caractères que la traînée principale *a*.

Si on approche du tube, par en haut, un conducteur isolé, de grande capacité, un conducteur de capacité moindre relié au sol, la traînée *a* est repoussée vers le bas, tandis que la lueur *b* est attirée vers le haut. En plaçant la main vers le milieu du tube, on

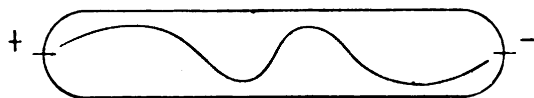


Fig. 2.

fait prendre à la traînée lumineuse la forme de la figure 2, (les signes + et — se rapportent au courant d'ouverture).

La décharge positive produite par le courant d'ouverture arrivant par la gauche provoque une distribution d'électricité telle que l'électricité négative s'écoule de la paroi intérieure vers la partie centrale du tube ; c'est l'inverse à droite ; il en résulte que la décharge positive est repoussée à gauche par le support et attirée à droite. Les électricités ainsi mises en liberté dans la feuille de clinquant se réunissent dans la partie qui fait face au milieu du tube. Effectivement, si on utilise seulement les courants d'ouverture et qu'on coupe la feuille en deux, on observe une forme de décharge nouvelle (fig. 3) ; les deux moitiés de la feuille se sont chargées

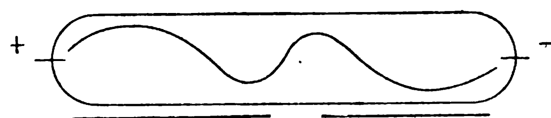


Fig. 3.

d'électricités, de nom contraire, qui se réunissent quand on relie les deux moitiés de la feuille par un fil métallique ; dans ce cas la décharge reprend sa forme primitive (fig. 1).

Si au courant d'ouverture succède le courant de fermeture, l'effet d'influence produit par le premier subsiste ; cette fois, c'est la partie positive située à droite qui est attirée vers le bas ; la partie négative, à gauche, est repoussée ; mais, en résumé, cette nouvelle décharge est forcée de suivre le même chemin que la première.

Si on fait passer les courants d'ouverture de la cathode dans la main, la décharge prend une forme convexe vers le haut (fig. 4) ; elle paraît positive dans toute son étendue, car une plaque métallique reliée au sol la re-

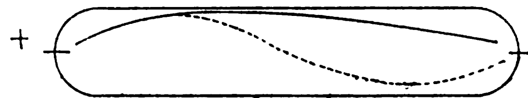


Fig. 4.

pousse sur toute sa longueur. Quand on touche l'anode, l'aspect de la décharge change peu ; elle paraît seulement un peu plus large. Si en même temps on approche la main restée libre, la traînée lumineuse se divise en

face de la main en deux bandes séparées par un intervalle obscur (fig. 5). La séparation se

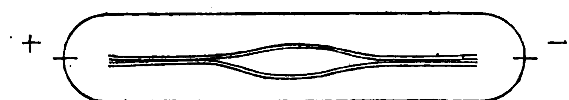


Fig. 5.

fait d'un bout à l'autre si on tient au-dessus du tube une règle de fer (fig. 6). En mettant

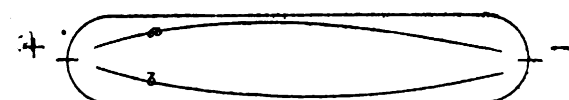


Fig. 6.

la main près de l'extrémité droite, on éteint facilement la traînée *a* et il ne subsiste que la partie *b*, qui est positive.

La séparation réussit bien surtout quand la plaque négative reste seule, l'autre pôle étant relié directement à la source. En général le tube reste alors obscur; mais il s'illumine quand on touche le pôle positif avec la main. En mettant l'autre main près du tube, on obtient un très beau phénomène; il se forme des stratifications (fig. 7). On obtient

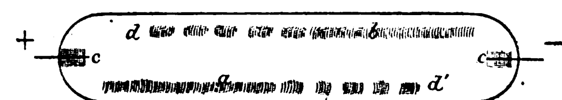


Fig. 7.

également une séparation très nette quand la plaque métallique est placée à une distance convenable de l'une des électrodes et l'autre pôle de la bobine relié au sol.

On peut en joignant ces procédés à celui de l'électro-aimant, soit compléter la séparation provoquée par l'électro-aimant, soit limiter au contraire cette séparation.

La décharge est aussi sensible à l'action d'un bâton de verre ou de résine électrisé qu'on déplace rapidement le long du tube; la traînée lumineuse est attirée ou repoussée d'autant plus énergiquement que le mouvement du bâton est plus rapide. Dans certains cas, lorsqu'on éloigne le bâton, la traînée lumineuse ne reprend pas immédiatement sa position d'équilibre, mais la dépasse d'abord comme le ferait une corde vibrante. Les attractions et les répulsions s'expliquent comme les premières par les mouvements d'électricité que provoque le déplacement du bâton sur les parois du tube. Ces phénomènes ne s'observent d'ailleurs que sur les décharges des bobines d'induction. Si on emploie les machines électrostatiques, le verre ou la résine électrisés n'agissent pas sur la décharge. M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Métodi di misura delle grandezze elettriche (Méthodes de mesures des grandeurs électriques); par Riccardo Arno. — *Unione tipografico-editrice*, Milan, Rome, Naples. — Prix 4 fr.

Ce livre est à proprement parler un petit guide destiné aux élèves des écoles pour se remémorer au moment des manipulations l'usage et la théorie des appareils de mesures électriques.

Ce guide comprendra deux parties; l'une, celle que nous présentons aujourd'hui au lecteur, se réfère aux mesures électriques proprement dites; l'autre se rapportera aux mesures magnétiques et à la nomenclature des essais à faire sur les dynamos, moteurs, les transformateurs, etc.

La première comprend en neuf chapitres tous les renseignements nécessaires et les principales méthodes employées pour mesurer : les résistances, les intensités de courant, les différences de potentiel, la capacité électrostatique, les coefficients de self-induction et d'induction mutuelle, les différences de phase, l'énergie électrique et la fréquence d'un courant alternatif.

Les courants alternatifs y occupent une large place et l'on a pu juger de l'originalité et l'opportunité de certaines mesures par l'extrait que nous avons donné récemment de ce petit livre.

L'ouvrage de M. Riccardo donne en appendice : un résumé des conclusions du Congrès international d'électricité de Chicago en ce qui concerne les unités électriques, les rapports entre les différentes unités pratiques de mesure et les unités C.G.S. dans les deux systèmes électromagné-

tique et électrostatique ; les rapports entre les diverses unités mécaniques ; un tableau des résistances spécifiques et des coefficients de température des principaux métaux et alliages ; les tables pour l'emploi du galvanomètre universel de Siemens et quelques autres renseignements.

En somme ce traité de mesures peu encombrant véritable livre de poche, pourra rendre quelques services aux étudiants et aux ingénieurs non familiarisés avec la pratique courante des mesures électriques.

F. Guilbert.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Angers. — *Traction.* — M. Richou vient de publier, dans un des derniers numéros du *Génie civil* une intéressante et complète description du réseau de tramways électriques d'Angers dont nous extrayons quelques passages à titre complémentaire des renseignements que nous avons déjà fournis à nos lecteurs. (Voir *L'Éclairage électrique*, t. IX, p. 385 ; 28 novembre 1897. Art. P. Girault.)

La station centrale, que nous décrirons sommairement, est située aux Ponts-de-Cé, au bord d'un bras de la Loire. Son matériel générateur se compose de 3 chaudières ayant chacune 125 m^2 de chauffe, alimentant 3 moteurs à vapeur couplés chacun par courroie à une dynamo multipolaire de 275 ampères à 500 volts à la vitesse normale de 375 tours. De ces trois groupes, deux seulement fonctionnent continuellement, le troisième est maintenu en réserve.

Le tableau de distribution qui complète l'installation électrique de cette usine sert à la répartition de l'énergie produite sur le feeder unique et les fils des lignes alimentant les deux réseaux urbain et suburbain.

Le premier de ces réseaux comprend cinq lignes, savoir :

Ligne n° 1 (1932 m) : Gare Saint-Laud-place Ney, par la place du Ralliement ;

Le prolongement jusqu'à la place Ney n'étant pas encore terminé, cette ligne a son terminus à la gare Saint-Serge ;

Ligne n° 2 (2 017 m) : Gare-Saint-Laud-Saint-Serge, par les boulevards ;

Ligne n° 3 (2 071) : Gare Saint-Laud-route de Paris ;

Ligne n° 4 (2 167 m) : Place du Ralliement-place de la Pompe ;

Ligne n° 5 (1 840 m) : Place du Ralliement-la Madeleine.

Le second réseau est formé de deux lignes suburbaines :

Ligne n° 1 (8 050 m) : Angers-Erigné, par les Ponts-de-Cé ;

Ligne n° 2 (6 250) m) : Angers-La Pyramide.

Divers prolongements ont été projetés, notamment celui de cette dernière ligne qui ira sous peu jusqu'à Trélazé, distant de 2 km de La Pyramide. Il est aussi question de créer, dans le réseau urbain, une nouvelle ligne allant de la place du Ralliement à la caserne des Pontonniers.

Actuellement ces réseaux sont desservis par 30 voitures motrices et 9 de remorque (voir à ce sujet l'article précité). Les caisses des voitures, d'un style élégant, sont confortablement aménagées ; chacune de celles du réseau urbain peut contenir 12 voyageurs assis et un nombre égal debout sur chacune des deux plates-formes ; celles du réseau sururbain sont plus spacieuses. Un train composé d'une voiture motrice et d'une de remorque peut transporter 44 voyageurs assis et 32 debout.

Toutes les lignes sont à voie unique, de 1 m d'écartement, avec garages. Les rails sont du type Marsillon de 17,5 km à contre-rail de 12,5 kg ; les coussinets de 170 mm de hauteur sont fixés par deux tire-fonds sur des traverses en chêne de 1,60 m de long et $0,18 \times 0,11$ m de section. La ligne de La Pyramide est en de nombreux points directement posée sur l'ardoise, qui est en abondance dans le sol. En ces points, on a dû creuser à la barre de mine les logements des traverses qui sont écartées de 1 m les unes des autres ; les coussinets sont aussi plus bas que dans les autres parties de la voie reposant sur le macadam.

Les lignes aériennes sont, comme on le sait, constituées par des fils de cuivre de 8 mm de diamètre supportés par des pylones, partie en acier, partie en ciment armé.

L'ouverture à l'exploitation du premier tronçon, celui d'Angers aux Ponts-de-Cé, a eu lieu le 22 mai 1896. Puis, successivement, les autres tronçons furent livrés à la circulation jusqu'au 14 juil-

let de la même année, date de la mise en exploitation générale des deux réseaux.

Le trafic, nous dit M. Richou, avait été évalué primitivement à 50 voyages par habitant et par an sur les deux réseaux, ce qui correspondrait à un transport journalier de 8000 voyageurs, occasionnant une recette de 0,50 fr par voiture-kilomètre. Dès les débuts, les résultats ont largement dépassé les prévisions. C'est ainsi que pour le mois d'août, le nombre des voyageurs transportés par jour s'élevait à 10500 et atteignait même parfois 17000 à 18000.

Les dépenses d'exploitation de toute nature se montent à environ 0,27 fr par voiture-kilomètre, ce qui donne un coefficient d'exploitation de 41,5 p. 100.

La recette par voiture-kilomètre varie nécessairement suivant les jours de la semaine et l'état du temps. Sur aucune ligne, la recette n'est encore tombée au-dessous du chiffre des dépenses d'exploitation ; elle est allée même jusqu'à atteindre 1,83 fr par voiture-km, sur une des lignes du réseau urbain, celle de la gare Saint-Laud-route de Paris.

Le tarif des places est de 0,10 fr pour le réseau urbain ; quant au réseau suburbain, les lignes sont divisées en sections d'environ 2 km chacune pour lesquelles il est perçu 0,10 fr pour la première et 0,05 pour les suivantes.

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

CHAMBLEY-MONTREAL (*Canada*).— *Station hydraulique et transport de force.* — La Royal Electric Company, de Montréal, va incessamment commencer les premiers travaux d'une importante station hydraulique utilisant un des « rapides » de la Richelieu river à environ 26 km dans l'est de la ville.

Les groupes générateurs de cette station seront installés progressivement jusqu'à la complète utilisation de l'énergie hydraulique disponible. Chacun d'eux se composera de deux turbines jumelles, type Victor, actionnant un alternateur biphasé d'une puissance de 2500 chevaux. Ces machines seront du type à induction et produiront des courants à très haut potentiel (12000 volts) afin d'éviter l'emploi des transformateurs pour la transmission du courant sur les lignes.

NEW-YORK. — *Station centrale privée.* — Les électriciens de la ville de New-York paraissent décidément nourrir un certain mépris envers les édifices à 5 ou 6 étages pour ériger leurs installations. Après une sous-station à 14 étages, vient un bureau central téléphonique qui compte bel et bien ses 12 étages, plus les sous-sols. Ce gigantesque monument, dont notre confrère *The Electrical Engineer* nous donne une vue de face, est très sobre de décorations, les 9 étages inférieurs ont une façade unie en briques vernissées et sont percés de fenêtres carrées absolument dénuées de tout ornement ; seuls les trois étages supérieurs et le fronton portent quelques décors d'une architecture des plus classiques.

Ce bâtiment appartient à la Compagnie des téléphones de New-York. Il a été construit dans le but de remplacer ou tout au moins de venir en aide à l'ancien bureau central de la Cortland street devenu insuffisant par suite de l'augmentation du nombre des abonnés.

La station centrale qui fournit le courant pour la lumière et la force motrice dans toute les parties de l'établissement ainsi qu'au bureau de Cortland street est située dans les sous-sols sur un plancher spécialement construit afin d'éviter les trépidations. Ce dernier est formé d'un épais lit de béton étendu sur plancher en treillis supporté par des colonnes ayant leurs propres fondations indépendantes de celles de l'édifice. La couche d'air qui sépare le sol de ce plancher constitue un excellent amortisseur.

L'équipement de la station comprend 4 chaudières Babcock et Wilcox alimentant 4 moteurs à vapeur Ball, monocylindriques à rotation rapide directement couplés à quatre dynamos à courant continu dont trois de 75 et une de 25 kilowatts. Les trois premiers groupes doivent fonctionner avec une vitesse angulaire de 275 tours par minute, le quatrième à 300 tours. Pour éviter le bruit qui se produit à l'évacuation, les tuyaux sont ouverts à 45° dans les coudes et se rendent à un collecteur qui débouche dans une cloche remplie d'eau. Cette disposition permet, en jouant le rôle d'amortisseur, de réchauffer l'eau d'alimentation des chaudières.

On sait qu'à New-York on distribue la vapeur à domicile comme l'eau et le gaz ; on a donc installé deux dérivations branchées sur les conduites principales de la New-York Steam Company qui pourront fournir aux moteurs la vapeur nécessaire à

leur fonctionnement en cas d'avarie aux chaudières.

Le courant engendré par les dynamos sert à l'alimentation des 1100 lampes et de trois moteurs commandant des ascenseurs dans l'établissement même et à celle de 940 autres lampes réparties dans le bureau de Cortland street. Dans le premier, les feeders partant du tableau de distribution sont placées dans une colonne montante — qui sert également aux fils téléphoniques — et alimentent un circuit principal affecté à chacun des étages; sur ce circuit sont branchées les dérivations qui vont alimenter les lampes dans les nombreux locaux privés de la Compagnie des téléphones et dans les cabines téléphoniques.

Le système de distribution du courant téléphonique est analogue à celui servant à l'éclairage. Des feeders fixés dans la colonne montante partent des dérivations formant un circuit principal pour chaque étage; les appareils sont tous branchés sur ce circuit par l'intermédiaire de boîtes de jonctions encastrées dans les murs latéraux. La batterie d'accumulateurs qui fournit le courant est placée dans une des salles du neuvième étage.

Dès que les installations seront complètement terminées — ce qui ne peut tarder car l'inauguration et la mise en service du nouveau bureau devaient avoir lieu dans les premiers jours d'avril — on enlèvera toutes les machines qui sont dans la station du bureau de Cortland street, laissant seulement celles commandant des ventilateurs. Ce bureau sera par suite de deuxième classe, la Compagnie ayant fait son siège du nouvel établissement.

Thomas (*West-Virginia, Amérique*). — *Transport de force.* — La Davis Coal and Coke Company vient d'ajouter à son matériel d'exploitation une station centrale productrice d'énergie électrique et de nombreux appareils utilisant cette énergie. Ces nouvelles installations, nous dit M. T.-W. Sprague dans l'*Electrical Review*, ont été faites aux mines de charbon bitumeux que la compagnie possède à Thomas (West-Virginia). La station centrale, érigée non loin des puits, est actuellement pourvue d'un générateur de courants triphasés de 100 kilowatts qu'entraîne un moteur à vapeur de puissance correspondante et un tableau de distribution.

L'alternateur est excité par le courant d'une petite machine à courant continu actionnée par une courroie venant de la partie restée libre de la génératrice. Le courant triphasé est produit et distribué au potentiel de 500 volts afin d'éviter l'emploi des transformateurs pour le circuit, long d'environ 4 km, qui se rend par voie aérienne aux fours à coke de Coketow. La plus grande partie du courant est utilisée à Thomas dans les deux principaux points d'extraction, par de nombreux moteurs de puissances diverses affectés aux lavage, concassage et transport du charbon à la surface.

La pose des câbles a été particulièrement soignée à cause du fonctionnement continuel des cages et des berlines. Les moteurs sont situés dans des emplacements spéciaux, à l'abri des poussières sous un carapace hermétique ne laissant apparaître que les godets graisseurs. Etant complètement dépourvus de bagues ou contacts d'aucune sorte, ils n'exigent aucune autre surveillance que celle du graissage. A des époques régulières on les visite à fond, ainsi que les circuits, et on consigne les résultats de l'inspection sur un registre spécial à charge de l'ingénieur chargé des installations électriques.

Les mêmes règlements sont observés pour les appareils du circuit de Coketow. Aussi n'a-t-on eu à signaler aucune avarie depuis la mise en marche des appareils. Ceux-ci ont aussi donné des résultats en tous points satisfaisants.

DIVERS

Allumage des becs de gaz par l'électricité. — Depuis longtemps on cherchait un système d'allumage automatique permettant d'allumer ou d'éteindre les becs de tout un secteur. Le *Journal des usines à gaz* vient de donner la description d'un dispositif depuis quelques mois en cours d'essai à Aix-les-Bains qui paraît résoudre le problème cherché. Dans chacun des becs, le robinet d'allumage est supprimé et remplacé par une petite bille en acier, pouvant se déplacer sous l'action d'un solénoïde entourant le manchon terminant le tuyau d'arrivée du gaz dans lequel elle joue le rôle d'obturateur. En temps ordinaire, alors que les becs sont éteints, la bille maintenue appuyée sur son assise concave par la pression du gaz s'oppose au passage de ce dernier. Dès qu'on lance le courant dans le solénoïde la bille est attirée vers le bas dans un évidement où elle est retenue par une petite lame courbe; une dérivation du gaz, qu'un fil fin porté au rouge par le courant enflamme,

allume le bec et s'éteint aussitôt. Au second lancé du courant, c'est-à-dire pour l'extinction, le manchon s'excitant de nouveau agit sur le talon de la lame courbe, libère de ce chef la bille obturatrice qui vient boucher l'orifice et par suite provoque l'extinction.

On peut par ce moyen allumer ou éteindre simultanément tous les becs de gaz d'un secteur donné ou une partie de ces becs à des heures déterminées.

Si ce système donnait véritablement tous les résultats que les essais font espérer, il serait appelé à rendre de grands services en permettant de supprimer les veilleuses d'allumage.

Régulateur d'intensité lumineuse pour lampes à incandescence. — Cet appareil que vient d'imaginer M. W. Hawker, de Québec (Canada), se compose d'un rhéostat formé de deux spires parallèles et sectionnées en 3, 4, ou 5 parties selon le nombre des variations d'intensité que l'on veut obtenir. Les conducteurs de ces spires aboutissent à une rangée de touches en face desquelles un cylindre, mû par une petite manivelle placée à l'une des extrémités, porte à sa périphérie une série de lames de ressort disposées de façon que les changements de touches ne donnent lieu à aucune extinction.

L'ensemble de l'appareil est monté sur un plateau muni de bornes par lesquelles on l'insère dans le circuit d'une ou de plusieurs lampes selon le nombre pour lequel il a été construit. La manivelle reste seule apparente.

Préparation du ferro-chrome au four électrique. — M. Heibling s'est proposé de donner à la fabrication et au traitement des métaux dans le four électrique l'allure continue qu'elle a dans les hauts fourneaux et, dans ce but, il a recherché un laitier fusible qui s'emparât de la gangue du minerai et dont la conductibilité électrique permît à l'arc voltaïque de subsister. Ce chimiste avait, en effet, remarqué que les laitiers employés dans la métallurgie sont généralement mauvais conducteurs de l'électricité et que leur présence dans le four électrique, même en assez petite quantité, détermine la rupture de l'arc et interrompt, par suite, l'opération. Il s'est alors attaché à découvrir un fondant qui fût bon conducteur et reconnut qu'en employant un mélange de chaux et de charbon on obtenait un laitier qui outre sa bonne conductibilité et sa propriété de maintenir l'arc n'est plus une scorie sans valeur mais un carbure de calcium, assez impur, il est vrai, mais néanmoins d'une assez grande valeur commerciale.

Sous l'influence de la chaleur de l'arc, une partie du charbon s'empare de l'oxygène du minerai, tandis que l'autre partie se combine à la chaux et à différentes matières du minerai en les transformant en carbures, fusibles et bons conducteurs de l'électricité, qui noient dans leur masse les autres parties de la gangue pendant que le métal mis en liberté se rassemble au fond du four.

Le *Génie civil* nous apprend que des essais exécutés récemment à Puteaux suivant cette méthode paraissent en avoir pleinement confirmé la théorie. On a employé, à cet effet, du minerai de ferrochrome provenant des usines de Boucau (Basses-Pyrénées), et l'on a reconnu que, sans fondant, on obtenait, tout en dépensant une quantité considérable d'énergie électrique, un métal en forme de ruban contorsionné et qui se brisait de lui-même en éclats. En ajoutant des proportions convenables de chaux et de charbon, on obtenait au contraire, avec la même quantité de minerai un poids de métal plus élevé bien que la quantité d'énergie employée fût moindre. De plus le métal obtenu se présentait sous forme d'un lingot compact et les carbures constituant le résidu de l'opération ont donné près de 250 litres d'acétylène par kilogramme.

Le téléphone sur la ligne de Niagara-Buffalo. — Un téléphone à circuit métallique complet vient d'être installé entre la station de Niagara, le bureau de M. C. Huntley, de la Compagnie des tramways de Buffalo, et la station réceptrice de ladite Compagnie. Ces trois postes sont constamment dans le circuit et peuvent être appelés à tous moments par l'un des cinquante postes téléphoniques échelonnés le long de la ligne et greffés sur le circuit principal par les soins de la Compagnie chargée de l'entretien de la ligne aérienne. Chacun de ces postes est édifié sur une colonnette et d'après le système des téléphones avertisseurs d'incendie. Ils sont appelés à rendre d'éminents services en cas d'accident sur les câbles à haute tension de la ligne.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XI. **Samedi 24 Avril 1897.** **4e Année. — No 18.**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

INSTALLATION
A COURANTS TRIPHASÉS
DU LABORATOIRE DE L'ÉCOLE SPÉCIALE DE MONS

Nous continuons la description des principales machines expérimentales du laboratoire électro-mécanique de Mons [1] par le groupe triphasé le plus important fourni, au commencement de l'année 1895, par les maisons Bouchaert, de Bruxelles, et Schuckert, de Nuremberg.

Nous prions les lecteurs du journal que la question intéresse, de nous excuser d'avoir tardé aussi longtemps avant de continuer notre série d'articles sur l'École de Mons. Ils savent, comme nous, que plus souvent encore maintenant qu'auparavant, dans la science et dans l'industrie électriques, par suite de l'activité qui y règne, « l'homme propose l'emploi de son temps, et... les circonstances disposent ».

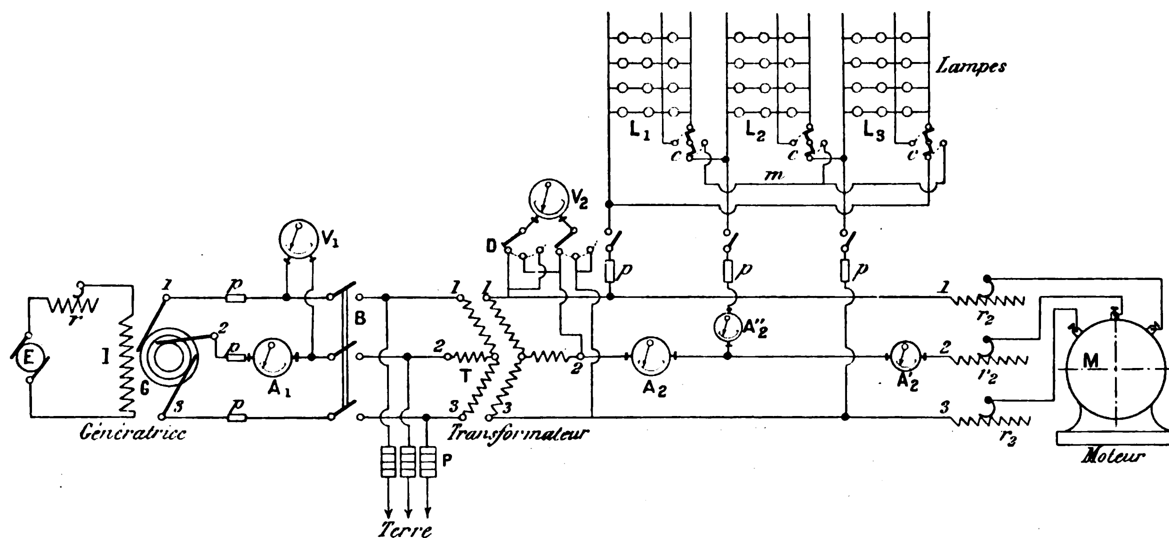


Fig. 1. — Disposition d'ensemble de l'installation Schuckert des courants triphasés.

Nous décrirons d'abord brièvement l'ensemble de l'installation, puis nous reprendrons chaque partie et nous l'examinerons en détail.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 145, et t. IX, p. 97, 25 juillet et 17 octobre 1896.

I. Ensemble de l'installation

Nous avons dessiné schématiquement l'ensemble du groupe sur la figure 1. Ce groupe comprend une excitatrice E, une génératrice G, un tableau primaire, un transformateur T, un tableau secondaire, un cadre multiple de lampes à incandescence L, un moteur avec deux induits, dont l'un à résistance de démarrage séparée. L'excitatrice et le cadre de lampes, avec le complément indispensable du tableau secondaire (pour le groupement des lampes) ont été fournis par l'École qui a adopté telle disposition qu'elle a voulu. La ligne, de

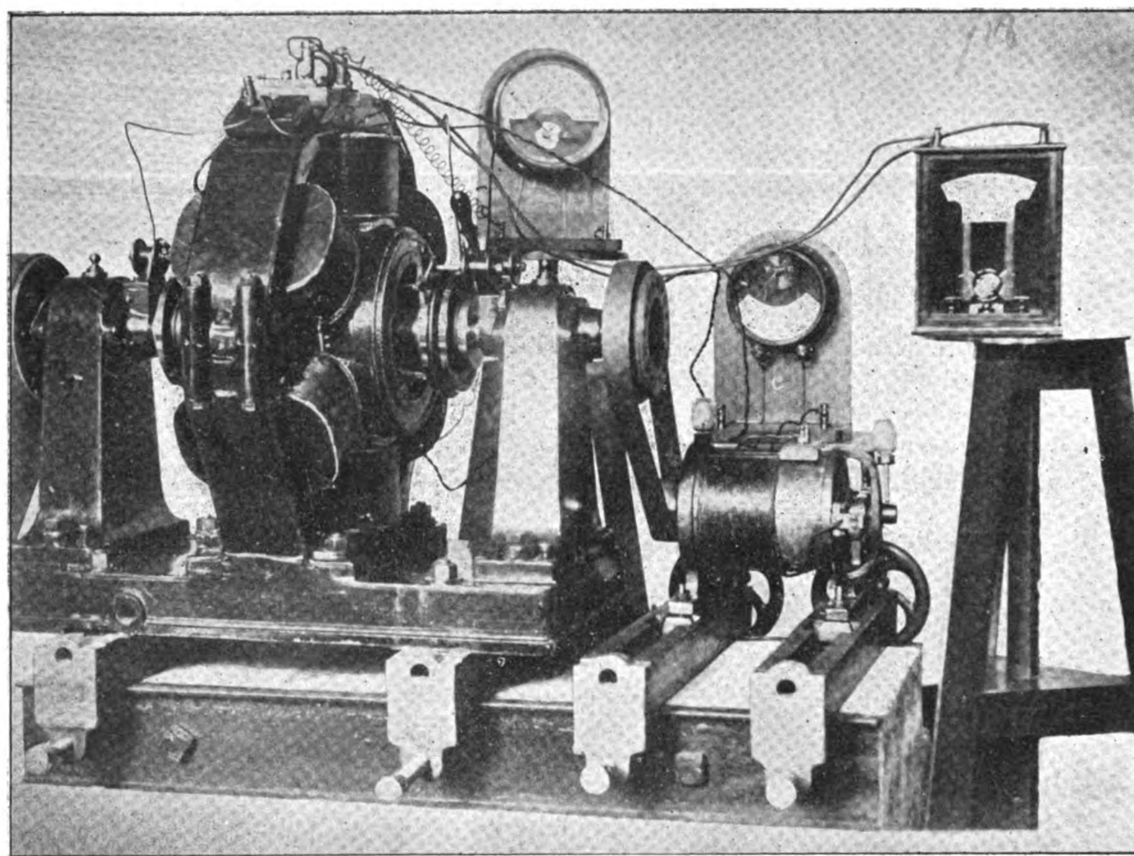


Fig. 2. — Génératrice à courants triphasés et son excitatrice.

peu de longueur, tous les appareils étant dans la même salle, est constituée par trois fils isolés l'un de l'autre, réunis dans une même enveloppe isolante et protectrice, et placée en partie sous le pavement, dans un petit caniveau spécial.

Une résistance *r* permet de régler le courant d'excitation des électro-inducteurs I de la génératrice. La ligne primaire, avant tout appareil de mesure, est munie de plombs fusibles *p*; un voltmètre V_1 est placé entre les fils 1 et 2 et un ampèremètre A_1 indique le courant qui circule dans le fil du milieu; un interrupteur triple B suit, et, avant le transformateur, des dérivations P conduisent à la terre à travers des parafoudres à surfaces dentées voisines.

Plus loin que le transformateur, en communication avec les trois bornes du secondaire de ce dernier, le second tableau porte, comme appareils principaux, un voltmètre V_2 avec commutateur D à triple communication, un ampèremètre A_2 à fortes indications pour les courants de démarrage du moteur et les

courants totaux (moteur et lampes), un deuxième ampèremètre A''_2 pour les lampes et un troisième A'_2 pour le moteur seul (ce dernier ampèremètre pouvant être mis en court-circuit au démarrage du moteur) et enfin trois plombs fusibles *p* et trois interrupteurs unipolaires pour les circuits des lampes. En réalité, comme nous le verrons plus tard, ce tableau secondaire est beaucoup plus compliqué que ne paraît l'indiquer le schéma de la figure 1. Il doit réaliser différentes combinaisons sur lesquelles nous reviendrons; il porte aussi les commutateurs *c* des lampes et les liaisons correspondantes.

Ces commutateurs *c* permettent le groupement en triangle et en étoile, en triangle lorsque la manette est verticale (position de la figure), en étoile lorsqu'elle est horizontale.

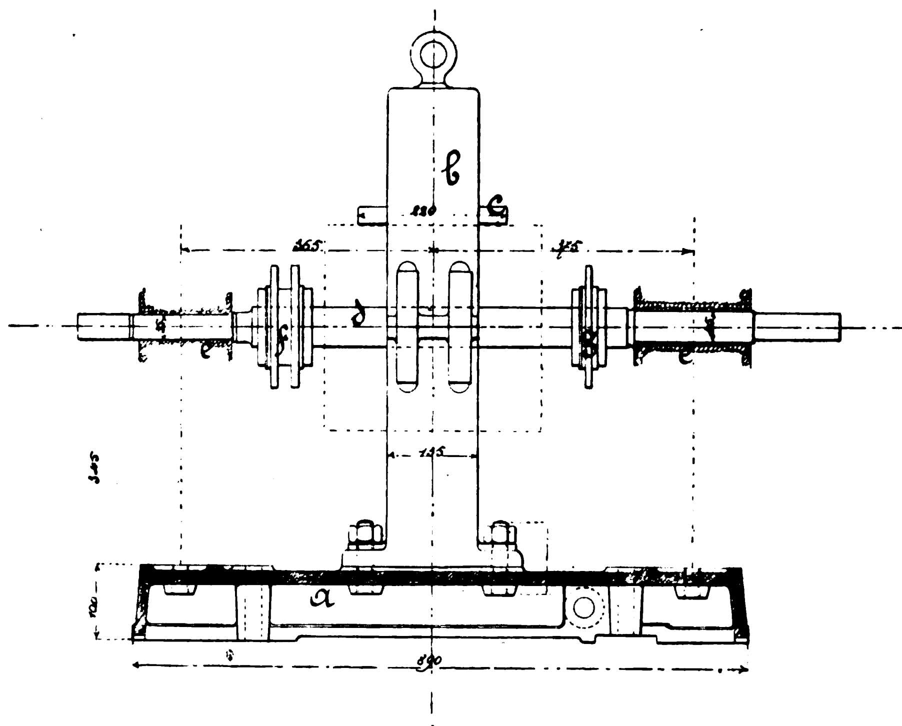


Fig. 3. — Projection et coupe verticale de l'arbre, du bâti et de l'inducteur.

Le voltage aux bornes des séries étant moindre dans ce dernier cas, le nombre de lampes en tension dans chaque branchement (série) est plus faible. Des commutateurs spéciaux, non indiqués sur le schéma, permettent de graduer le nombre de séries de lampes en dérivation sur les fils extrêmes et même de les placer toutes, une à une, en dérivation sur deux fils de ligne pour le cas où on veut se servir du cadre pour d'autres génératrices à courant continu ou alternatif du voltage d'une lampe seulement.

Du tableau secondaire partent aussi trois fils qui conduisent les courants au moteur M (circuit inducteur) à travers des résistances spéciales, indépendantes du moteur. L'induit ordinaire de ce dernier porte de faibles résistances intérieures non variables pouvant être mises en court-circuit, et un induit spécial permet l'introduction dans son enroulement de résistances indépendantes, variables, qui augmentent dans de fortes proportions le couple de démarrage.

II. Génératrice a courants triphasés et son excitatrice

La figure 2 représente en photogravure la génératrice hexapolaire et son *excitatrice*.

Cette dernière, placée à droite sur deux petits sabots spéciaux à vis, est mise en mouvement par la génératrice au moyen d'une courroie qui porte sur l'une des moitiés d'un joint d'accouplement du système Raffard, prévu par le constructeur pour attaquer directement l'excitatrice. Celle-ci est une petite dynamo Gramme à grande vitesse que l'École possédait avant la commande des machines Schuckert à courants triphasés. Elle est excitée en série de sorte qu'il nous suffit de relier ses bornes aux inducteurs, dont toutes les bobines sont en tension, à travers la résistance régulatrice, fixée au tableau primaire, dont il sera question ci-après.

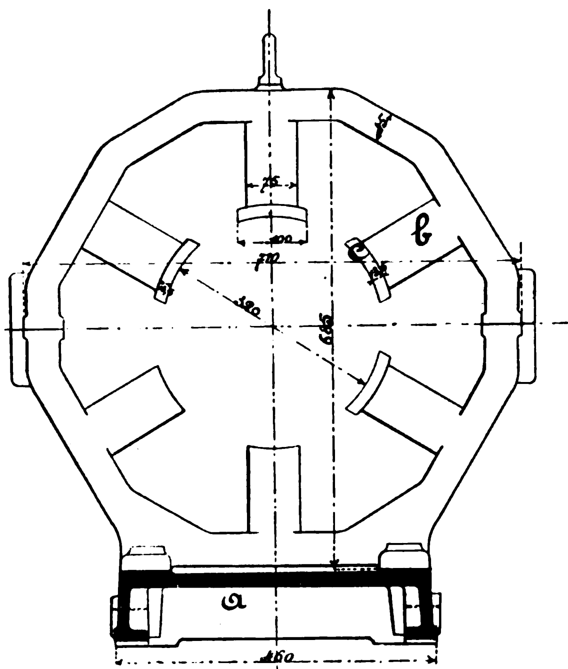


Fig. 4. — Profil et coupe du bâti et de l'inducteur.

Comme le montre la figure 2, un ampèremètre, placé près de l'excitatrice, en enregistre le courant, et un voltmètre, situé vis-à-vis du palier de droite de la génératrice, donne la force électromotrice aux bornes des inducteurs de cette dernière. Quant au voltmètre électrostatique Carpentier, qui était supporté par un trépied à droite de l'ensemble, lors de l'essai après lequel la photographie a été tirée, il marquait les volts aux bornes de la génératrice, en concurrence avec le voltmètre du tableau primaire que nous allons bientôt décrire.

Ainsi que l'indique la figure 2, *l'alternateur* repose sur un massif de maçonnerie au ciment, appuyé sur le bon terrain et garni latéralement de fers à double T, au moyen de deux sabots à vis qui permettent de tendre la courroie et de mettre la machine en place, de niveau et parallèlement à l'arbre moteur.

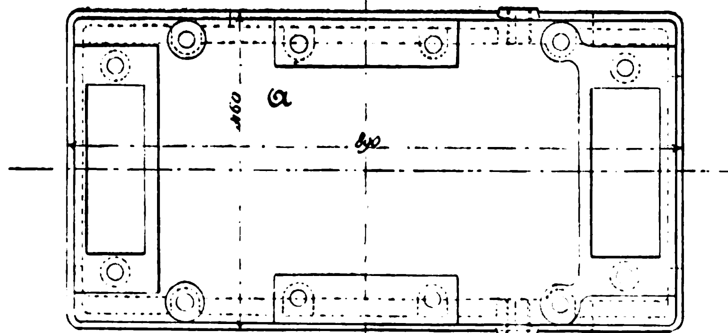


Fig. 5. — Plan du bâti.

Le *bâti* est formé d'une base en fonte évidée et munie de portées de dressement pour la réception des paliers et de la carcasse magnétique (voir aussi les fig. 3 à 5, lettre *a*). Le corps des *paliers* est de la forme tubulaire. Les coussinets en sont représentés en partie à la figure 11, lettre *b;* ils sont à rotule *b* sup-

portée par deux boites fixées à vis dans la tête *d* du palier; les tourillons sont graissés par bague en bronze *q* tournant avec l'arbre et baignant dans l'huile. Cette construction des paliers est d'ailleurs tout à fait celle des paliers du transformateur rotatif décrit dans

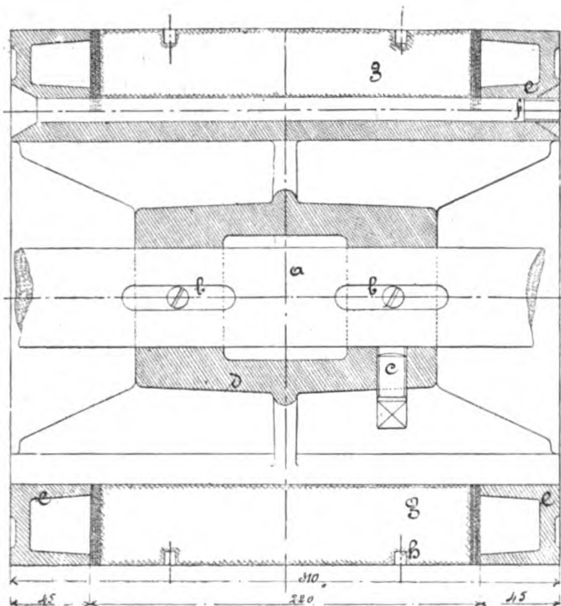


Fig. 6. — Coupe longitudinale de l'induit.

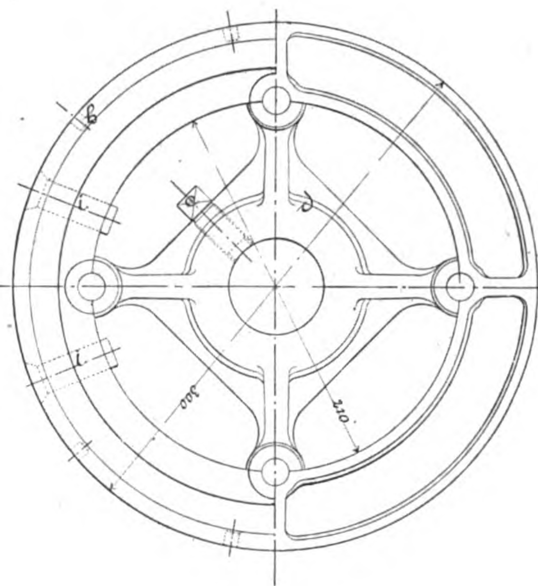


Fig. 7. — Dessin profil de l'induit.

le tome VIII, page 145. Le bâti et les paliers sont en fonte.

Le bâti est représenté complètement par figures 3 à 5. Il peut être fixé aux sabots par

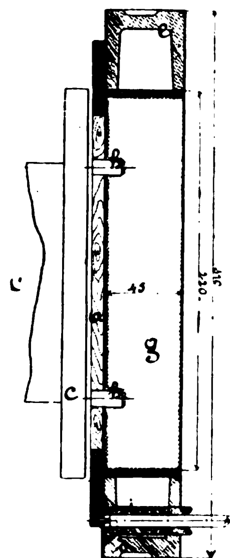


Fig. 8. — Coupe transversale de l'induit.

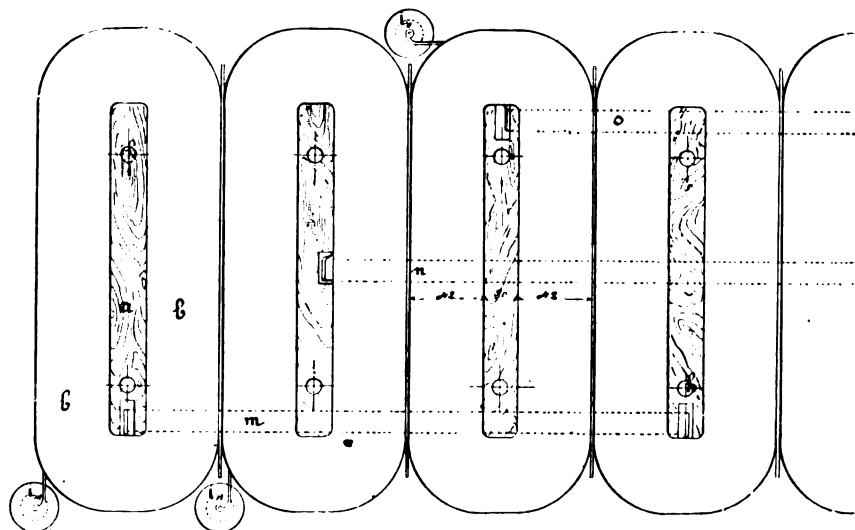


Fig. 9. — Développement partiel de l'enroulement de l'induit.

quatre boulons et les paliers y sont maintenus chacun par deux prisonniers.

Le *circuit magnétique b* y est aussi représenté. On voit qu'il est composé de deux parties dont l'une est rapportée sur le bâti par quatre prisonniers et dont l'autre est munie

d'un piton de levage. Elles sont assemblées au niveau de l'axe par quatre boulons et elles portent ensemble six pôles munis de bobines. Ces pôles sont garnis de pièces rapportées *c* formant épanouissements et maintenues par des vis à tête fraisée.

La carcasse et les épanouissements sont en *acier coulé*.

Chacun des six électros est recouvert de 17 couches de 39 tours, soit en tout de 663 *tours de fil*. L'excitation normale à pleine charge de la génératrice, est de 6,3 ampères, ce qui donne *par électro* 4177 *ampères-tours d'excitation*.

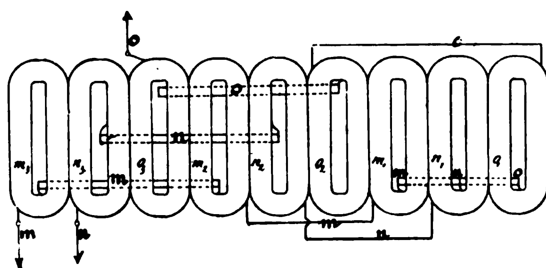


Fig. 10. — Développement total de l'enroulement de l'induit.

Le diamètre du fil est de 2,3 mm et la résistance totale est de 10 *ohms*.

L'*induit* est détaillé les figures 6 à 10. Il est constitué par un *noyau* composé de 630 tôles annulaires en fer doux de 0,3 mm d'épaisseur séparées par des feuilles de papier de 0,04 mm, ce qui fait une section en fer de 1871,1 cm² et un rapport de 0,86 entre la section fer et la section totale de l'anneau.

Le noyau est supporté par un croisillon *d* en fonte calé sur l'arbre *a* en acier par deux clavettes *b* et maintenu longitudinalement par une vis de pression *c*. Le serrage du noyau et sa fixation sur le croisillon sont obtenus par deux couronnes en fonte *e* assemblées au moyen de quatre longs boulons *f* à tête et écrou fraisés.

Le noyau est recouvert de deux couches d'étoffe et d'une couche de mica, puis par neuf bobines *b* à centre *a* rectangulaire en bois chevillé (*h*) dans le fer. Ces bobines sont reliées en étoile, comme l'indiquent les figures, en *trois groupes de trois bobines en tension*, *m*, *n* et *o*, aboutissant à une jonction commune en cuivre de 12 × 0,2 mm, et à trois points de départ i_m, i_n et i_o où le fil qui conduit aux bagues de réception par l'intérieur du noyau est garanti par un tuyau *i* en ébonite.

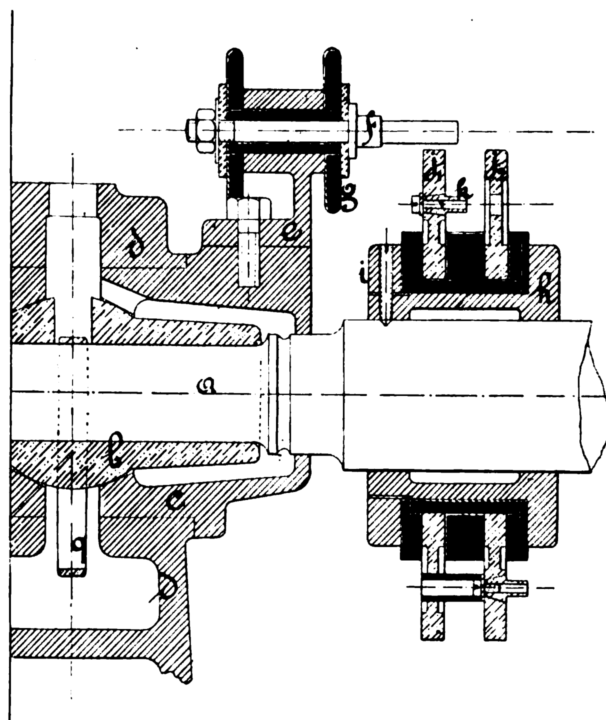


Fig. 11. — Coupe suivant l'axe d'un palier, des bagues de prise ou couronne et des porte-balais.

Les bobines sont séparées par une bandelette isolante en fibre.

Chaque bobine contient 5 couches de 33 tours soit 165 *tours de fil* de 1 mm de diamètre. Il y a *trois bobines en série par phase*, et *trois bobines consécutives embrassent un flux complet*, c'est-à-dire l'espace compris entre deux pôles de même nom. La résistance de six bobines, entre deux bornes, est de 14,4 ohms à chaud.

L'enroulement induit est consolidé par un frettage en cinq bandes de fil de laiton.

L'épaisseur totale de l'entrefer est de 10 mm, dont 1 mm pour l'isolant, 6,5 mm pour les bobines et 2,5 mm pour le frettage et le jeu.

L'*arbre* (*d*, fig. 3) est en acier forgé. Il porte

d'un côté de l'induit deux bagues et de l'autre une seule bague de prise de courant. Le rapport de la longueur des tourillons à leur diamètre est de 3,8 et les diamètres sont 35 à 45 mm.

Les *bagues de prise de courant* ainsi que les porte-balais et leurs supports sont représentés sur les figures 11, 12 et 13. Nous croyons que toute description en serait superflue, les dessins étant suffisamment complets. Au surplus, les lettres aident à se reconnaître dans les différentes projections, un peu diverses. Les gros traits noirs figurent l'isolant. Les supports sont en fonte, les bagues et les porte-balais en bronze.

La *puissance* de l'alternateur est de 7000

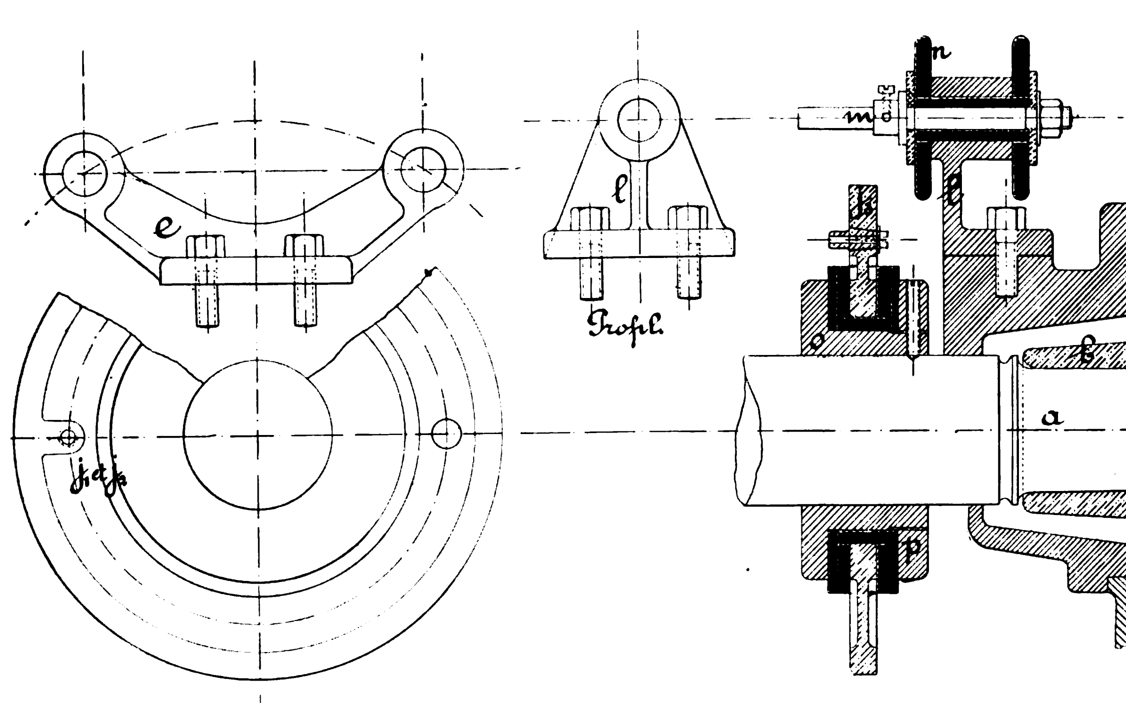


Fig. 12 et 13. — Profils et coupe suivant l'axe.

watts utiles sous 1000 *volts efficaces* entre deux bornes. La force électromotrice par phase est de

$$\frac{1\,000}{1{,}73} = 578 \text{ volts},$$

et le courant efficace, par fil,

$$\frac{7\,000}{578 \times 3} = 4{,}03 \text{ ampères},$$

en supposant que la *résistance* extérieure soit *sans self-induction*.

Les appareils de mesure et les interrupteurs étant prévus pour 8 ampères au maximum, on voit qu'on n'a rien à craindre, le coefficient cos φ apparent de puissance pouvant ainsi tomber jusqu'en dessous de 0,5.

Des bornes de l'alternateur, visibles sur la figure 2, les trois fils descendent le long du bâti jusque dans le caniveau dans une enveloppe commune; ils gagnent ensuite le mur de la salle, remontent jusqu'à la cimaise et la longent jusqu'au tableau primaire (fig. 14) où ils aboutissent aux bornes 1, 2 et 3 marquées A, à la partie inférieure du tableau.

III. — Tableau primaire (fig. 14 et 15)

Le tableau primaire est représenté en photogravure sur la figure 14 et schématiquement sur la figure 15.

Les instruments occupent les mêmes places sur le tableau et sur le schéma, de sorte

que l'on pourra parfaitement suivre la description.

Les trois fils de la génératrice arrivent à la

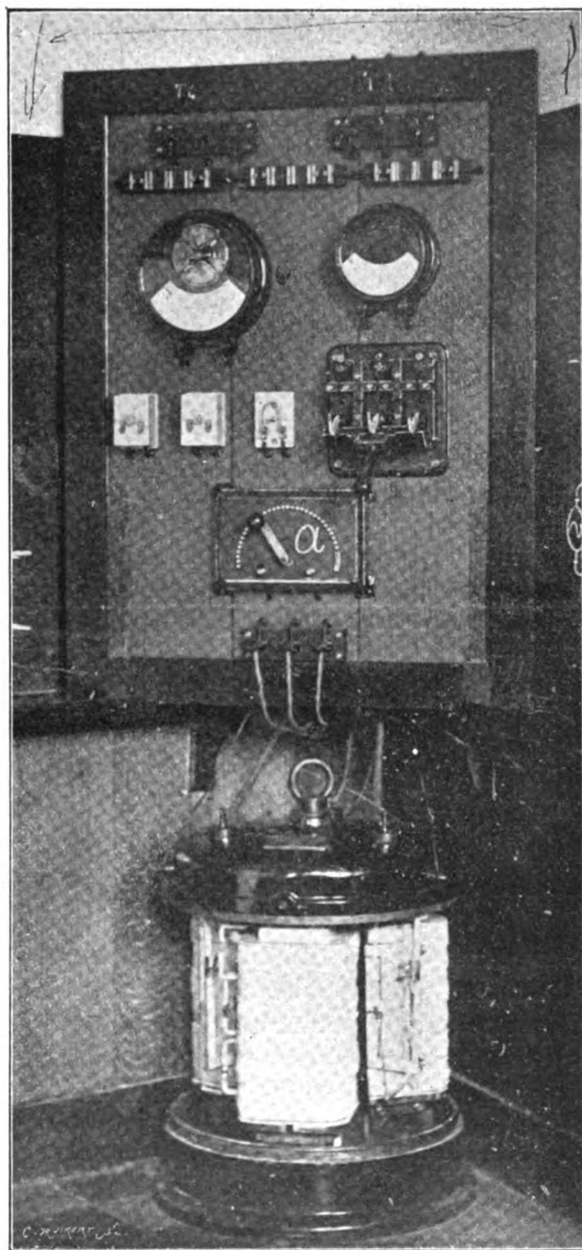


Fig. 14. — Tableau primaire et transformateur.

plaque isolante A qui porte les bornes 1, 2 et 3. Le courant 1 passe alors par un des plombs fusibles B, par l'interrupteur triple C, et va ensuite à la borne 1 de la plaque E et de là descend au transformateur ou va à la terre par le parafoudre G et la borne de terre I correspondante. Les courants 2 et 3 suivent un parcours parallèle, le courant 2 passant par l'ampèremètre E.

Le voltmètre est branché entre les fils 1 et 2, près des plombs fusibles.

L'ampèremètre est gradué de 0 à 8 ampères et le voltmètre de 0 à 1 100 volts.

Comme on peut le voir sur la photographie, le voltmètre est du système électrostatique à quatre segments reliés deux à deux,

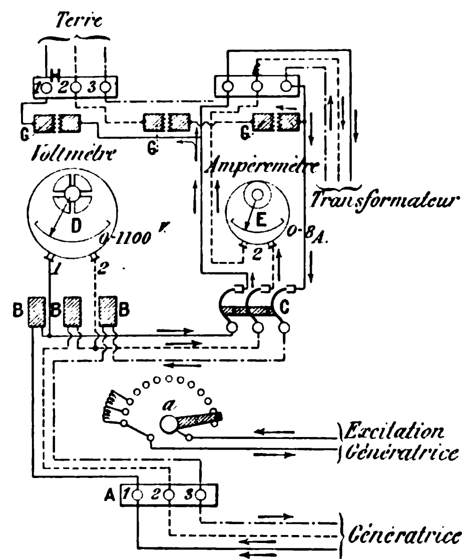


Fig. 15. — Schéma du tableau primaire.

l'interrupteur tripolaire est à ressort et les parafoudres sont composés de trois séries de dentures croisées en tension.

Les fils allant du tableau au transformateur descendent derrière le premier et viennent se fixer aux bornes du primaire, sur le dessus du couvercle, autour de l'anneau de levage. Les bornes secondaires sont disposées latéralement; les fils qui y sont fixés montent à la cimaise et la longent jusqu'au tableau secondaire.

Le rhéostat variable I est celui de l'excitation.

Nous décrirons le transformateur dans la prochaine partie de cet article.

(*A suivre.*)

SATURNIN HANAPPE.

APPLICATIONS MÉCANIQUES
DE L'ÉLECTRICITÉ (1)

On sait avec quelle facilité l'électricité permet de commander sûrement les appareils les plus délicats de la mécanique de précision ; on en voit un nouvel et intéressant exemple par la description, un peu longue il est vrai, du remarquable *compararateur de spirales* HUNTER, ingénieur de la grande manufacture de montres à Elgin (2).

Le principe de l'appareil est le suivant : chacun des balanciers de montre à l'essai commande l'un des circuits d'un électro-aimant, dont le second enroulement, opposé au premier, est commmandé par un pendule étalon qui le ferme à chaque minute, tandis que le balancier à l'essai ferme son circuit par l'intermédiaire d'un mécanisme spécial (3) au bout du nombre de ses oscillations correspondant normalement à une minute. S'il y a concordance entre le pendule et le balancier, les deux courants se neutralisent et l'électro-aimant ne fonctionne pas, sinon il enclenche le mécanisme enregistreur, que nous allons décrire, et qui indique, comme nous allons le voir, l'irrégularité de la spirale en grandeur et en sens.

La machine dont l'ensemble est représenté par les figures 7 à 10 est disposée pour recevoir cinq balanciers à la fois, avec des enregistreurs indépendants et identiques, dont il suffira d'en décrire un seul.

Chacun de ces enregistreurs a pour moteur un arbre C sur lequel tourne fou un pignon E_1 (fig. 13), constamment entraîné par le pignon E correspondant (fig. 8)? Chaque fois que le levier H embraye E avec C, cet arbre fait, à chaque tour, par Q R R′, pivoter d'un vingt-cinquième de tour la roue O*o* et son limaçon M, pourvu de 25 dents *m*. Un arbre T (fig. 10 et 17) porte, pour chaque enregistreur, 2 secteurs U, U′, à cliquet *u*, *u*′, au droit des cames M et K (fig. 13). Le secteur correspondant à la came K porte 20 numéros doubles, croissant, de 5 en 5 unités régulièrement de 00 à 95, et celui correspondant à M, 20 chiffres simples de 2 à 24, de manière à pouvoir imprimer par leurs positions relatives tous les nombres de 0 à 2495.

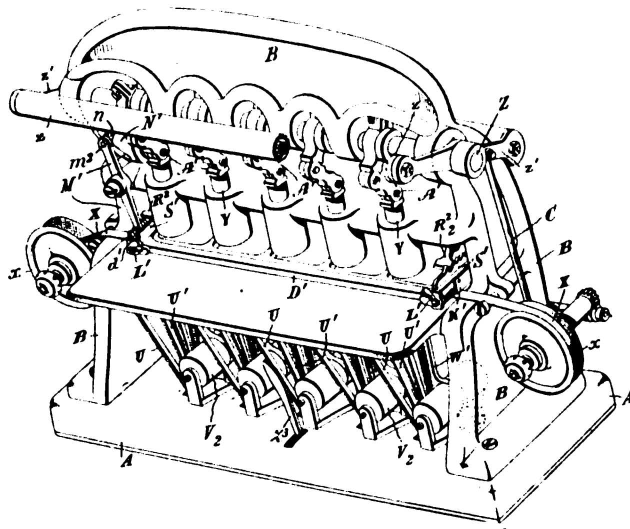


Fig. 7. — Comparateur Hunter (1896). Ensemble de l'appareil.

Au-dessus des secteurs U, U′ dans la rainure ménagée pour leur passage dans la table V, se trouve une lamelle d'acier W, un peu plus large que la section correspondante, sous laquelle passe le ruban X, *xx* (fig. 17 et 10) et percée d'un trou *w*, au droit du poinçon Y commandé, de l'arbre *r*, par le genou A′ correspondant (fig. 9). Cet arbre *r* commande, par *r*′, C′, B′, des doigts *b*′, qui, dès que Y s'abaisse, lâchent les talons u^2 des secteurs de manière à laisser leurs cliquets *u*, *u*′ appuyés sur les cames K et M ; puis, à la levée de Y, les doigts *b*′ dégagent les secteurs de ces cames. Enfin, à chaque oscillation de l'arbre *r*, le bras O′ (fig. 15) fait, par *o*′, après la levée des poinçons Y, tourner d'un sixième de tour la came N′ (fig. 8) dont le levier M′ avance, à l'extrémité de sa course longitudinale, le

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 101 ; 10 avril 1897.

(2) *La Lumière Électrique*, 4 janvier, 17 décembre 1892, p. 452-563 ; 29 avril 1893, p. 262.

(3) *La Lumière Électrique*, 29 avril 1896, p. 263.

châssis D′ qui porte la feuille de papier H′ (fig. 12) sous le caoutchouc G′. Après avoir, dans cette position, reçu l'empreinte des poinçons I en activité, le papier se déplace d'une interligne par le jeu des renvois Q′,P′,R² (fig. 14) et de son rochet S que commandent les trois cames n_2, n_2, n_2.

Quant aux leviers H (fig. 15) qui déterminent les enclenchements des arbres C correspondant aux balanciers discordants, ils consti-

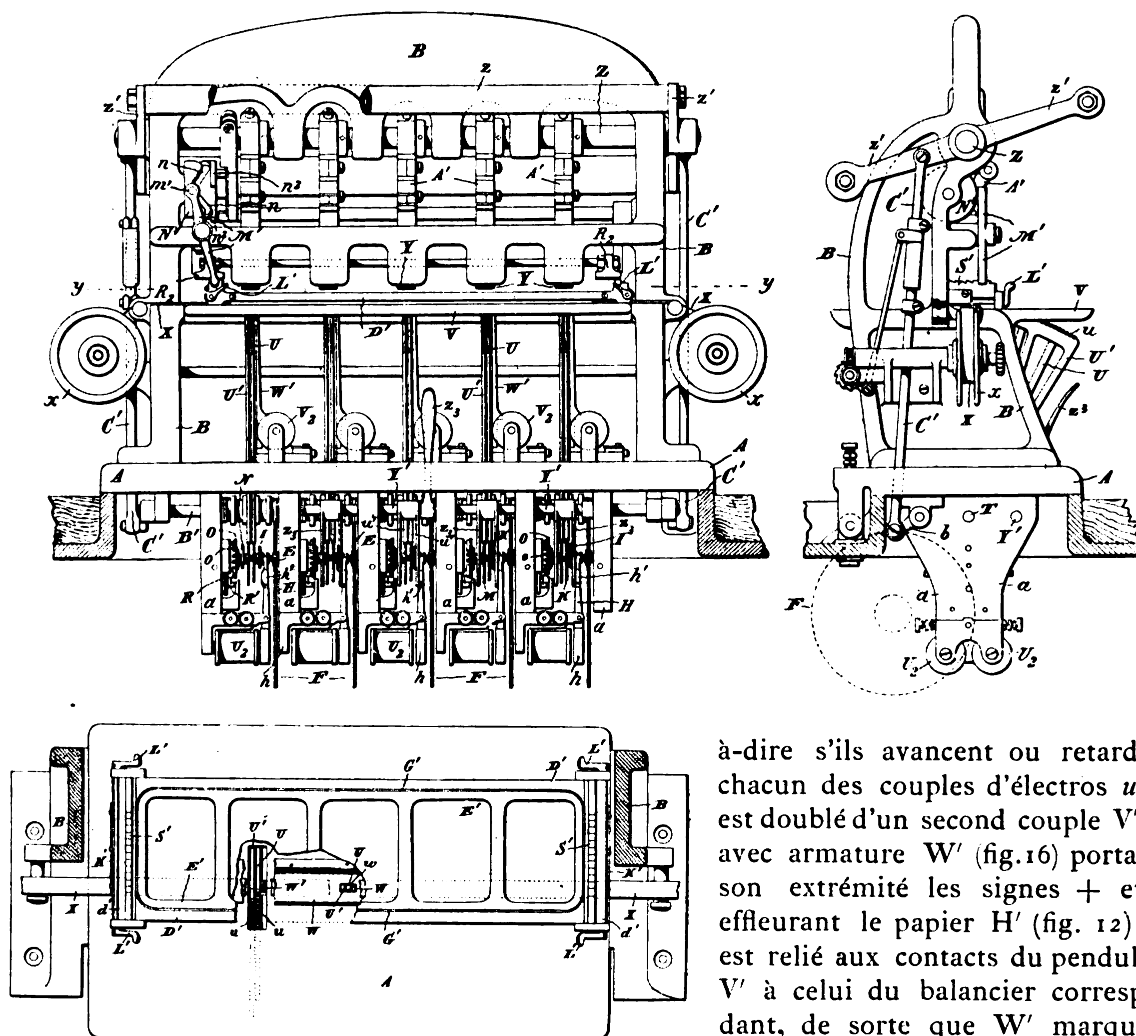


Fig. 8 à 10. — Comparateur Hunter. Elévation, vue par bout et plan coupé *yy*.

tuent (fig. 12) les armatures des électros U′, dont nous avons parlé au commencement de cette description, à enroulements u_3, u_3, reliés respectivement aux contacts du pendule vérificateur et des balanciers en essai correspondants.

Pour savoir si ces balanciers ferment leurs circuits avant ou après ceux du pendule, c'est-à-dire s'ils avancent ou retardent, chacun des couples d'électros u_2, u_2 est doublé d'un second couple V′, V² avec armature W′ (fig. 16) portant à son extrémité les signes + et — effleurant le papier H′ (fig. 12) : V′ est relié aux contacts du pendule et V′ à celui du balancier correspondant, de sorte que W′ marque le signe + ou le signe — suivant que l'un ou l'autre de ces contacts se ferme le premier. Quand ce balancier concorde avec le pendule, U′ lache H qui, rappelé par un ressort débraye C de E et l'arrête par son embranchement en S (fig. 13).

La remise au zéro se fait en faisant osciller par la manette z^3 par l'arbre Y′, à levier z_2, (fig. 12) qui, d'abord repousse par *h′* les leviers H correspondants et leurs arbres C de

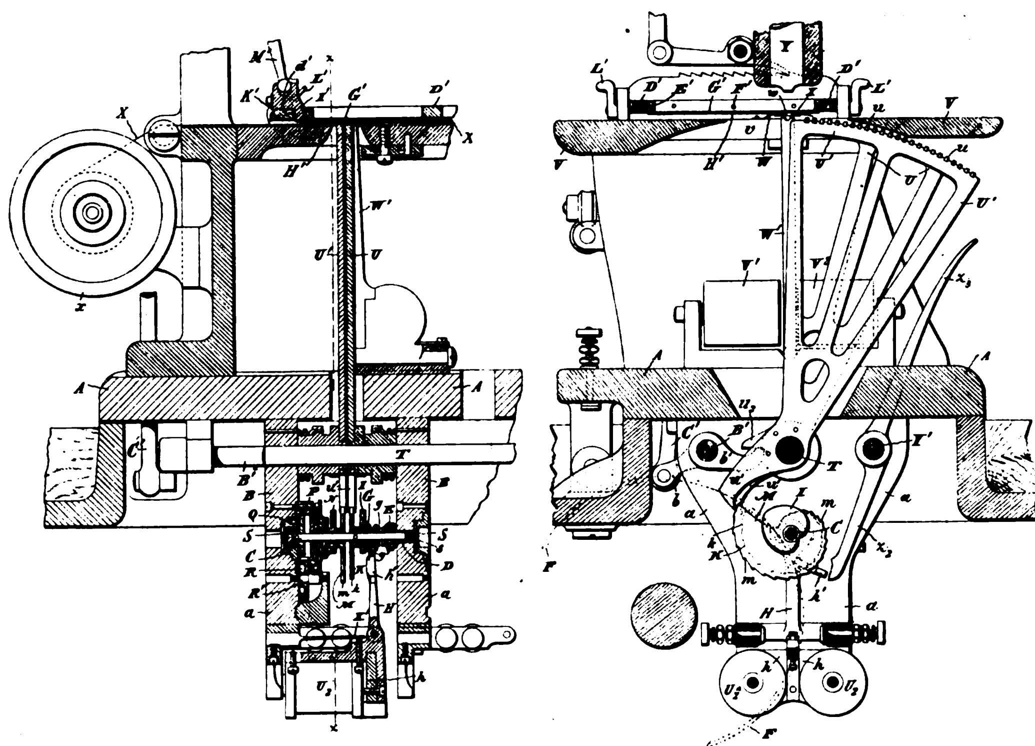
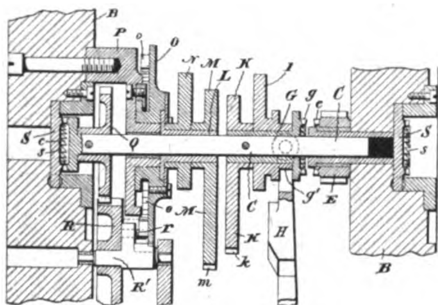


Fig. 11 et 12. — Comparateur Hunter. Coupes orthogonales *xx*.

manière à dégager les cames K et M de leurs secteurs, puis les ramènent au zéro par leur poussée sur les cames N et I.



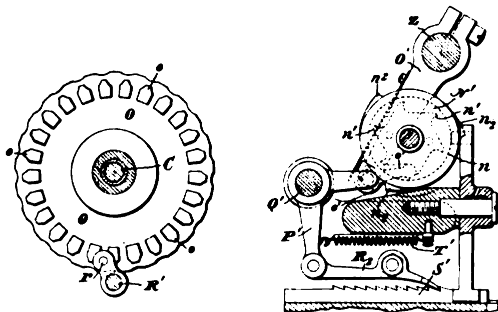


Fig. 13 à 15. — Comparateur Hunter. Détails du mécanisme d'avance.

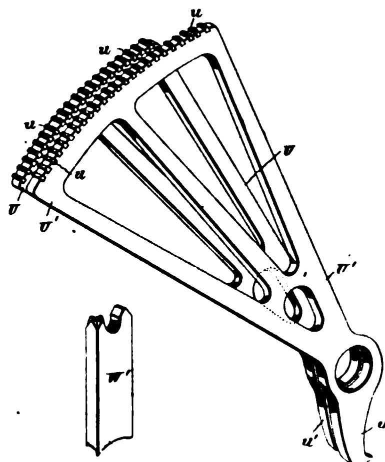


Fig. 16 à 17. — Comparateur Hunter. Détail des secteurs et du marqueur.

Dans les *horloges* construites par la société « La Précision » de Bruxelles, l'armature *xx* (fig. 19 à 21) ne touche jamais les pôles P P de

son électro-aimant E. Quand sous l'action de ces pôles, elle passe de la positon figure 20 à celle figure 21, l'aiguille L de l'ancre A pivote sollicitée par le barillet, d'un angle limité

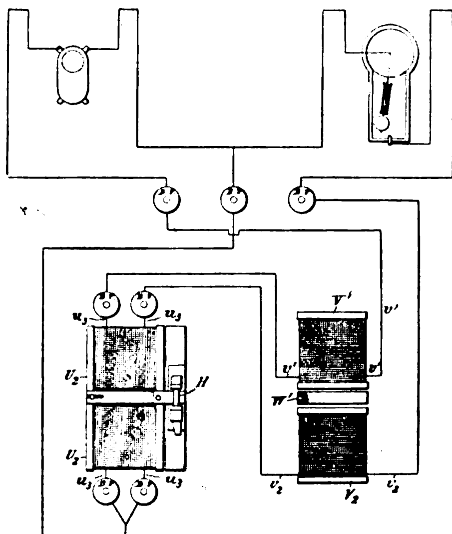
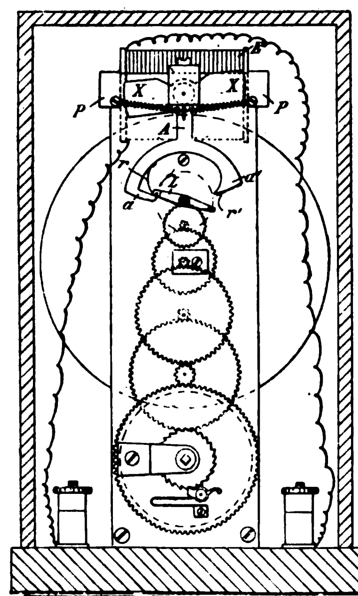


Fig. 18. — Comparateur Hunter. Schéma des circuits.

par la butée élastique r' de a'; puis, quand le courant cesse en E, xx rappelé par un ressort reprend sa position primitive, laissant L



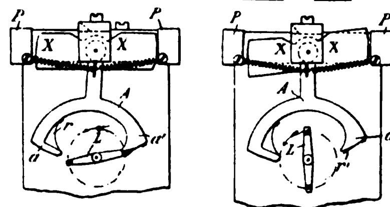
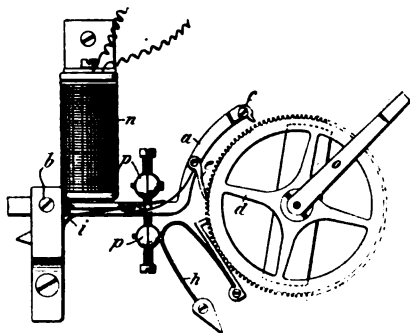
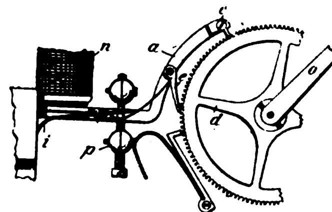
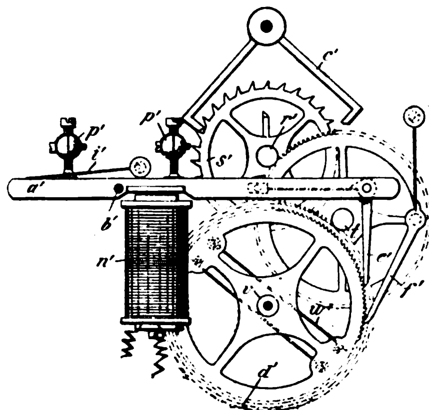


Fig. 19 à 21. — Horloges de la société « La Précision » (1895).







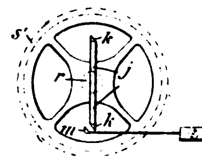


Fig. 22 à 25. — Horloge Joyce (1896).

tourner jusqu'à son arrêt amorti par le renfort *r* de *a*. La marche de l'échappement est ainsi tout à fait silencieuse.

Dans le système de M. A. Joyce (fig. 22 à 25), quand la palette *j* (fig. 25) de la roue d'échappement *s'* touche, par l'une de ses pointes en platine *k*, le contact *m*, l'électro *n'* (fig. 24) attirant malgré le ressort *i'*, à butée élastique *p*, le levier *a* autour de *b*, fait tourner d'une de ses 120 dents, par le doigt *e*, à rappel *g*, le rochet *r'*, actionné par le cliquet *f'*, à rappel *h*. Le rochet *r'* entraîne la roue des minutes *d'* par les longs ressorts *e'*, *f'*, toujours armés à une tension sensiblement constante. Les horloges secondaires reliées à l'horloge maîtresse (fig. 22) sont pourvues d'un échappement anologue agissant à chaque contact de *k* sur *m* (fig. 25) c'est-à-dire deux fois par minute, sur l'électro *n*, qui par le mécanisme *a*, *c*, *e*... affecté des mêmes lettres que le précédent, fait avancer d'une de ses 120 dents la roue de minutes *d'*.

G. Richard.

MESURE DES FORCES ÉLECTROMOTRICES

MÉTHODES D'OPPOSITION

La différence de potentiel RI, produite par un courant I traversant une résistance R, peut toujours être comparée à une autre différence de potentiel, ou à une force électromotrice, par les moyens qui ne modifient pas le produit RI, c'est-à-dire à l'aide des électromètres et des condensateurs. On peut aussi, et c'est là la base des méthodes d'opposition, placer, en dérivation sur la résistance R, un circuit composé d'une pile de force électromotrice E, et d'un galvanomètre. Si la pile est placée de telle sorte que sa force électromotrice soit de sens *opposé* à la différence de potentiel, le courant qui traverse le circuit dérivé est dû à la différence entre E et RI; on peut, en agissant sur R ou sur I, rendre ce courant nul, alors on a évidemment

$$E = RI.$$

Selon que l'on mesure I ou qu'on l'élimine, on obtient deux méthodes différentes.

Pour la comparaison d'une force électromotrice quelconque à celle d'un étalon connu, le mode opératoire diffère suivant la grandeur relative des deux grandeurs à comparer et aussi selon la polarisation.

Pour la mesure des forces électromotrices plus faibles que celle de l'étalon, de même que pour les sources facilement polarisables, on fait usage d'une pile auxiliaire, de force électromotrice constante et supérieure à celle à mesurer.

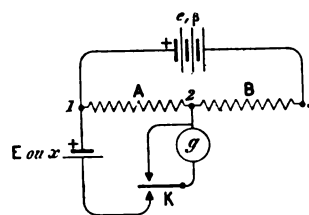


Fig. 1. — Méthode d'opposition.

Deux boîtes de résistances A et B (fig. 1) sont reliées en série et traversées par le courant fourni par la pile auxiliaire *e*. Aux extrémités de A, se trouve placé le circuit dérivé composé d'abord de l'étalon E, de la clef K et du galvanomètre *g*. Il faut avoir soin de placer en 1 les *pôles de même nom* des deux piles. On fait varier les résistances A et B jusqu'au moment où, en abaissant la clef K, on n'observe plus de déviation du galvanomètre; à ce moment.

$$E = AI \quad \text{et} \quad I = \frac{e}{A + B + \beta},$$

β étant la résistance intérieure de la pile *e*.

Une seconde opération semblable, faite

avec la force électromotrice inconnue x, donne :

$$x = \mathrm{A}\mathrm{I}' \quad \text{et} \quad \mathrm{I}' = \frac{e}{\mathrm{A}' + \mathrm{B}' + \beta}.$$

Pour éliminer β, il faut employer une source de très faible résistance intérieure, ou bien faire :

$$\mathrm{A} + \mathrm{B} = \mathrm{A}' + \mathrm{B}'$$

de façon à avoir toujours la même intensité. Pour plus de sécurité, on combine souvent les deux moyens par l'emploi d'accumulateurs, dont la résistance β est très faible, et en faisant usage de résistances dont la somme reste constante.

Pratiquement, on emploie, pour former A et B, deux boîtes de résistances identiques, capables de varier, chacune, depuis 1 jusqu'à 10 000 ohms; on fait la somme A + B constante et égale à 10 000. Quelquefois, pour la commodité des mesures courantes, on prend d'abord A égal à un multiple simple de E, un multiple décimal si possible, et on règle B jusqu'à obtenir l'équilibre du galvanomètre. A ce moment la somme A + B représente à peu près la force électromotrice e. Après substitution de x à E, on rétablit l'équilibre en ayant soin d'ajouter en A toutes les bobines qu'on supprime en B et réciproquement; s'il n'y a pas eu d'erreur, la somme A′ + B′ est égale à A + B, la valeur cherchée de x est égale à A′ divisé par le multiple choisi, ce qui simplifie les calculs.

Pour constater l'égalité de E et AI, on peut employer, en g, un galvanomètre ou un électromètre. Le dernier semble plus logique dans la circonstance, malheureusement il n'existe pas d'électromètre *pratique* assez sensible pour constater les très faibles différences de potentiel en jeu; il faut donc avoir recours à l'emploi de galvanomètres sensibles.

Quand l'équilibre est obtenu, il ne passe évidemment aucun courant dans l'étalon E ou la pile x, il n'y a pas à craindre de polarisation; mais, pendant le réglage, le produit AI, peut différer beaucoup de E; si le circuit était fermé en permanence, la polarisation pourrait se produire; l'interposition de la clef K a pour but d'obvier à cet inconvénient. Au moment de faire la mesure on observe le galvanomètre, puis abaissant la clef K, *pendant un temps très court*, on constate une déviation; on modifie A et B en conséquence, puis on recommence. Si, pour un contact très court, le galvanomètre ne bouge pas, c'est qu'on est très près du réglage parfait, le courant qui traverse le galvanomètre et l'étalon est très faible; on peut, sans inconvénient, prolonger la durée du contact de manière à être bien sûr que le courant est nul; s'il ne l'est pas, on finit le réglage de A et B. En procédant ainsi, on arrive à faire des mesures très précises, sans modifier en rien la force électromotrice de l'étalon et de la pile x.

Dans cette mesure, les erreurs systématiques sont dues aux défauts de réglage des boîtes A et B, et à l'incertitude, quelquefois très grande, sur la valeur de E.

Les erreurs accidentelles sont causées par le défaut de sensibilité du galvanomètre et par les variations de la force électromotrice e pendant la mesure. On élimine assez facilement cette dernière erreur en faisant des séries de mesures alternées, E, x, E, etc. Soit, par exemple, 3 mesures; la première sur E, donne A et B, la seconde sur x, donne A′ et B′, enfin, la troisième faite avec E donne, en prenant A, une valeur de B différente, B_1. La variation de B à B_1 indique une variation de e; si la résistance intérieure β est négligeable, on a, en supposant la variation de e parfaitement continue,

$$\frac{\mathrm{E}}{x} = \frac{2(\mathrm{A}' + \mathrm{B}')}{2\,\mathrm{A} + \mathrm{B} + \mathrm{B}_1}.$$

L'intensité du courant qui passe dans le galvanomètre est déterminée, pour une différence AI — E, par la résistance du galvanomètre lui-même, plus celle de l'étalon ou de la pile x :

$$i_g = \frac{\mathrm{AI} - \mathrm{E}}{r + g}.$$

L'exactitude de la mesure est donc variable avec la résistance intérieure de E ou de x; on a intérêt à prendre, toutes choses égales d'ailleurs, un galvanomètre très sensible; en outre, comme la résistance r est souvent très grande, toutes les fois que l'on a à choisir entre deux galvanomètres différant *seulement par l'enroulement,* il faut prendre le plus résistant qui s'adapte à des mesures plus variées.

L'erreur relative commise avec un galvanomètre dont la formule de mérite est F_m, est, en prenant la plus petite déviation perceptible égale à l'unité,

$$\frac{dE}{E} = \frac{r+g}{EF_m}.$$

Avec un galvanomètre à cadre mobile, un étalon Clark modèle ordinaire du commerce, et en employant pour e des accumulateurs, on obtient facilement des mesures à 0,1 p. 100 près, sauf quand x est très petit par rapport à E.

Quand la force électromotrice à mesurer est plus grande que E, et quand il n'y a pas à craindre de polarisation, on se sert du courant fourni par cette source. On remplace e par la force électromotrice x, le montage restant identique pour toutes les autres parties. Le réglage de l'équilibre s'obtient en faisant varier A et B. On peut procéder de deux manières, si la résistance β est négligeable devant A + B, on fait

$$A = nE,$$

et on règle en agissant sur B. La somme A + B, divisée par n, donne immédiatement la force électromotrice inconnue x,

$$x = \frac{A+B}{n}.$$

On prend pour n un nombre simple, multiple de 10 autant que possible.

Si β n'est pas négligeable, il faut faire deux mesures en prenant des valeurs différentes A et A′, auxquelles correspondent B et B′,

$$\frac{E}{A} = \frac{e}{A+B+\beta} \quad \text{et} \quad \frac{E}{A'} = \frac{e}{A'+B'+\beta}$$

$$e = E\,\frac{(A'+B')-(A+B)}{A'-A}.$$

Sous cette forme c'est la méthode classique de Poggendorff.

Le mode opératoire et les conditions de sensibilité sont les mêmes que ci-dessus.

Les méthodes d'opposition sont les plus parfaites pour la *comparaison* des forces électromotrices; leur précision absolue est seulement limitée par l'incertitude des étalons, c'est pourquoi la méthode suivante, qui élimine E et le remplace par la mesure d'une intensité, au moyen d'une balance étalon, est plus exacte et surtout plus certaine.

MESURE EN FONCTION D'UNE INTENSITÉ ET D'UNE RÉSISTANCE

Pour la mesure des forces électromotrices de 1 à 2 volts, en particulier pour la vérification des piles étalons, on emploie la disposition suivante :

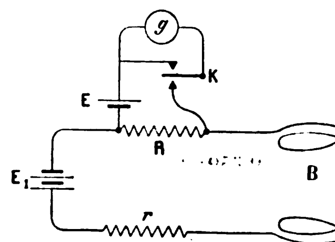


Fig. 2. — Emploi des étalons d'intensité.

Un étalon d'intensité B (fig. 2), qui peut être un ampère-étalon Pellat ou une balance Kelvin, reçoit le courant constant fourni par une batterie d'accumulateurs E_1. Une résistance R, exactement connue, et un rhéostat de réglage r, à variation continue, sont placés également dans le circuit; la force électromotrice à mesurer, E, est en opposition aux bornes de R par l'intermédiaire d'une clef K et d'un galvanomètre g, comme dans la méthode précédente.

Un observateur règle le courant au moyen de r, jusqu'à ce que le galvanomètre reste au zéro; à ce moment un autre observateur règle l'équilibre de la balance B. Quand les deux appareils : galvanomètre et balance sont en équilibre, on a

$$E = RI.$$

Pour obtenir de bons résultats, il faut apporter tout le soin possible à l'observation de la balance, de façon à réduire l'erreur sur I au minimum ; dans ce même but, il faut maintenir le courant aussi constant que possible en évitant les variations de température de l'étalon et de la résistance. Le galvanomètre g doit être assez sensible pour accuser nettement des différences de potentiel de l'ordre de 0,0001 volt. Enfin, il faut connaître exactement la température de la résistance et celle de l'étalon E s'il y a lieu.

La résistance doit être choisie de telle façon que l'intensité qui donne l'équilibre soit celle pour laquelle l'erreur sur I est minimum. Avec une balance centi-ampère de Kelvin, on devra chercher une intensité qui puisse être mesurée avec le curseur au bout de l'échelle ; selon le poids employé, on donnera à I et R les valeurs suivantes, pour mesurer un étalon Clark valant environ 1,43 volt :

I =	0,125	0,250	0,500	1	ampère.
R =	11,44	5,72	2,86	1,43	ohms.

La même mesure devra être faite avec R = 5 ohms et I = 0,286 ampère, quand on fera usage d'un ampère-étalon Pellat.

Cette résistance doit être construite pour s'échauffer le moins possible, son coefficient doit être très faible ; on doit la faire en maillechort ou manganine, de section convenable pour l'intensité, et il est bon de la plonger dans un liquide isolant, qui permet de connaître plus exactement sa température, et qui augmente en même temps la capacité calorifique, de telle sorte que l'échauffement se trouve ralenti. Il faut toujours agiter le liquide dans lequel plonge cette résistance pour éviter la formation de couches dans lesquelles les températures sont inégales.

Quand la différence de potentiel n'est pas susceptible d'être altérée sensiblement par le courant mesuré par l'étalon, on emploie celui-ci comme un voltmètre ordinaire ; il suffit d'intercaler dans son circuit une résistance assez grande pour amener l'intensité du courant à la valeur convenable. Par exemple, une balance centi-ampère munie d'une résistance additionnelle telle que l'ensemble égale 800 ohms, permet de mesurer 100 volts avec un courant de 0,125 ampère, c'est-à-dire dans de bonnes conditions, le curseur étant au bout de l'échelle. Cette solution exige évidemment des sources ayant une faible résistance intérieure et non polarisables.

La résistance additionnelle peut être réglée de telle sorte que la valeur de E soit obtenue en multipliant le chiffre de la lecture par un coefficient simple ; dans l'exemple précédent il suffit de multiplier par 2 le chiffre lu sur l'échelle fixe. Cette disposition n'est autre chose que celle des voltmètres étalonnés ordinaires.

La résistance peut aussi être quelconque, il faut alors la mesurer soigneusement et faire le produit RI.

La première disposition permet de mesurer la force électromotrice d'un étalon à 0,02 ou 0,03 p. 100 près, à la condition de prendre beaucoup de précautions et de faire la moyenne de plusieurs mesures. La seconde disposition est évidemment moins exacte ; dans les conditions les plus favorables, on atteint 0,1 p. 100. Il faut remarquer, à l'avantage de cette méthode, qu'elle donne directement cette exactitude sur le chiffre *en volts*, alors que dans la méthode de comparaison à l'aide des résistances seules, on obtient la même précision sur la valeur de x en fonction de E ; l'erreur sur E s'ajoute alors à celle de la mesure.

EMPLOI DES ÉLECTROMÈTRES ET DES CONDENSATEURS

Les électromètres sont peu employés pour

la mesure des forces électromotrices faibles, non parce qu'il est impossible d'obtenir une sensibilité suffisante, mais parce que les méthodes de déviation auxquelles ils se prêtent donnent une exactitude qui n'est pas en rapport avec la délicatesse du réglage nécessaire. Ces instruments sont, en général, réservés pour la mesure des forces électromotrices plus élevées, comme celles employées dans l'industrie, ou plus fréquemment encore pour les forces électromotrices périodiques.

On peut cependant employer les électromètres à miroir pour la mesure des faibles forces électromotrices en se servant de la méthode hétérostatique. Après un réglage soigné, effectué comme nous l'avons vu, (t. VIII, p. 598), on relie les quadrants aux deux pôles d'une pile dont le milieu est à la terre, ou, mieux encore, aux deux extrémités d'une résistance parcourue par un courant constant, le milieu de cette résistance étant à la terre. Si l'on a besoin d'une grande sensibilité, la différence de potentiel entre les quadrants doit être celle qui donne le maximum de sensibilité, (t. VIII, p. 594). Une clef d'inversion sert à relier les deux pôles de la pile à mesurer, alternativement avec la terre et avec l'aiguille, de façon à obtenir, pour chaque force électromotrice, deux déviations de sens opposés, et à éliminer ainsi les défauts de symétrie et les forces électromotrices de contact des métaux formant le circuit. Cette méthode permet seulement la *comparaison* des forces électromotrices, il faut graduer l'instrument avec une pile étalon, Clark ou autre.

Par ce moyen, les piles sont mesurées à *circuit ouvert*, il n'y a aucune polarisation à craindre.

Les forces électromotrices à comparer doivent être du même ordre de grandeur, ou à peu près, de façon à réduire autant que possible les erreurs de lecture.

Pour les forces électromotrices élevées, on emploie plus fréquemment la méthode idiostatique qui dispense de la pile de charge; pour les courants alternatifs, cette méthode est la seule à employer.

Les connexions étant établies, comme on l'a vu (t. VIII, p. 594), si le coefficient M est négligeable dans l'étendue de l'échelle, on étalonne l'électromètre en le reliant aux deux pôles d'une pile de force électromotrice connue ou mesurée au moyen d'une quelconque des méthodes indiquées ici. La pile employée doit donner une déviation assez grande à l'électromètre et il faut toujours faire deux mesures en renversant le sens des pôles. Quand M n'est pas négligeable, il faut, comme pour les voltmètres ordinaires, déterminer plusieurs points de la courbe. Ainsi étalonné, l'appareil peut servir indifféremment pour les courants continus ou alternatifs. A moins de très grandes précautions pour assurer l'invariabilité de tous les éléments qui interviennent dans la sensibilité des électromètres, il vaut mieux réétalonner ces instruments chaque fois qu'on doit s'en servir; cette restriction ne s'applique, bien entendu, qu'aux appareils à miroir.

La comparaison des forces électromotrices à l'aide des condensateurs, rentre dans la catégorie des méthodes à *circuit ouvert*. Un condensateur, dont la capacité n'a pas besoin d'être connue, est chargé avec la force électromotrice à mesurer, puis déchargé dans un galvanomètre balistique. En procédant de même avec une pile étalon, le rapport des élongations donne le rapport des forces électromotrices.

Le dispositif employé est le suivant (fig. 3). Un galvanomètre balistique g est relié, en 1, à une des armatures d'un condensateur C, et, en 2, au contact supérieur d'une clef de décharge K_2; la lame mobile de cette clef est elle-même reliée, en 4, à la seconde armature du condensateur; enfin, la pile E est reliée, en 1 et 3, par l'intermédiaire d'une clef d'inversion K_1.

Pour faire la mesure, on abaisse la clef K_2 sur le contact 3, ce qui établit la communication entre la pile E et le condensateur; celui-ci prend donc une charge CE. Aban-

***

donnant ensuite la clef K_1, la lame mobile vient toucher en 2, et le condensateur se décharge dans le galvanomètre, en produisant une élongation ε_1 proportionnelle à CE. Une

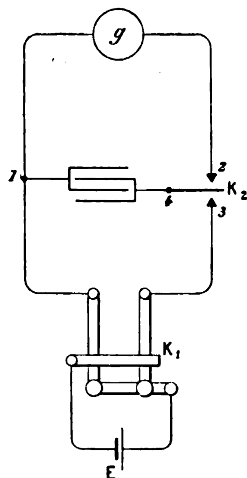


Fig. 3. — Méthode du condensateur.

seconde observation faite en substituant la force électromotrice inconnue, x, à E, donne ε_1 proportionnelle à Cx; on en tire :

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{E}{x}.$$

Comme condition pratique, il faut avoir grand soin de prendre toujours la même durée de décharge, en maintenant la clef K_2 abaissée pendant un temps uniforme pour toutes les mesures; on élimine ainsi les effets nuisibles de l'*absorption* du condensateur, effets d'autant plus graves que le condensateur est plus imparfait. Il est également important, pour éviter les pertes de charge causées par le défaut d'isolement du condensateur, de faire le temps de passage de 3 en 2 aussi court que possible; dans la clef de Sabine et dans les modèles analogues, ce mouvement est obtenu par la détente brusque d'un ressort. Il est bon de faire deux mesures à chaque force électromotrice, en renversant le sens de la charge.

La sensibilité de la méthode est liée à la grandeur des élongations observées, il en résulte que, pour comparer deux forces électromotrices, il est nécessaire que celles-ci soient entre elles dans un rapport assez peu élevé, de façon à obtenir, pour chacune des élongations, une valeur convenable sans sortir de l'échelle; en pratique, on ne peut guère dépasser le rapport de 1 à 3.

Pour comparer des forces électromotrices différentes, deux moyens peuvent être employés. L'un, qui consiste à faire varier la capacité C, dans un rapport connu, a l'inconvénient d'introduire dans la mesure les erreurs de réglage des condensateurs, erreurs souvent supérieures à 1 p. 100. L'autre, plus exact, consiste à employer, avec le balistique, un *shunt universel* (t. VIII, p. 552); cet appareil peut être facilement remplacé, en fermant le galvanomètre sur deux boîtes de résistances dont on fait varier le rapport en laissant la somme constante. Cette dernière disposition permet de comparer, avec des élongations presque égales, des forces électromotrices variant dans le rapport de 1 à 1 000, avec une précision de 0,1 à 0,3 p. 100.

Quand le galvanomètre employé est trop sensible, on réduit la durée d'oscillation à l'aide de l'aimant directeur, ou, s'il est à cadre mobile, on fait varier la capacité ; on peut aussi le shunter.

La méthode qui consiste à mesurer l'élongation produite *à la charge*, est de beaucoup inférieure à celle décrite ci-dessus, car elle fait intervenir dans le résultat tous les défauts du condensateur. En prenant la mesure *à la décharge*, avec les précautions indiquées, on peut se servir d'un condensateur quelconque, même très médiocre.

(*A suivre.*)

H. ARMAGNAT.

FREIN

POUR LA MESURE DU RENDEMENT DES MOTEURS DE FAIBLE PUISSANCE

Tous ceux qui ont eu à faire des essais de rendement de moteurs de faible puissance savent combien il est difficile d'obtenir l'équi-

libre du frein pendant le temps nécessaire pour procéder aux observations relatives à la détermination de la puissance fournie au moteur. Le frein une fois chargé, pour obtenir l'équilibre, il faut faire varier le frottement autour de la poulie en agissant sur des vis ou sur des tendeurs et la manœuvre est très délicate. Si on emploie un peson, la lecture de cet appareil est peu certaine et les indications peu précises.

Le frein que nous avons imaginé ne présente pas ces inconvénients, l'équilibre étant obtenu par la variation de la longueur d'un bras de levier, longueur qu'il est très facile de déterminer exactement.

Une courroie entoure la poulie M du mo-

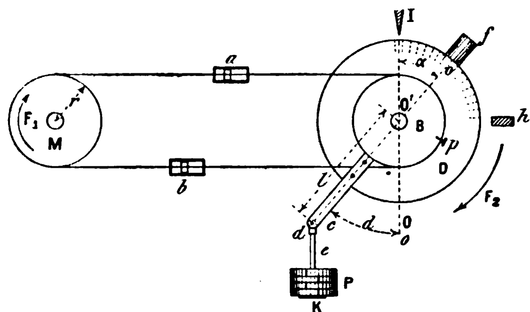


Fig. 1. — Frein pour la mesure du rendement des moteurs de faible puissance.

teur (fig. 1) et une poulie en bois B, de *même diamètre*, fixée sur un arbre parallèle à celui du moteur.

Cette courroie est fixée en un point p de la poulie en bois, de manière à l'entraîner invariablement et la partie qui entoure la poulie du moteur est percée de trous munis à la partie extérieure de petits ajutages, pour recevoir le liquide lubrifiant. A la partie intérieure sont disposées des pattes d'araignée pour bien répartir le lubrifiant sur la surface de la poulie.

Deux tendeurs a et b disposés symétriquement sur la courroie permettent de faire varier le frottement sur la poulie et par conséquent la différence de tension T des deux brins de la courroie. Sur l'arbre de la poulie en bois est fixé un disque gradué D, portant une tige c disposée radialement. A l'extrémité de cette tige est fixée une articulation d à laquelle est suspendue une tige e portant à sa partie inférieure un plateau K.

L'ensemble des tiges c, e et du plateau K est équilibré par une petite masse f disposée sur le bord du disque D à l'opposé de c.

Des disques de métal P soigneusement tarés, fendus suivant un rayon, peuvent être disposés sur la tige e de manière à obtenir un poids donné P. Supposons que le plateau K étant chargé d'un poids P, le moteur tourne dans le sens de la flèche F_1 et que l'on agisse sur les tendeurs pour faire frotter la courroie sur la poulie du moteur. La poulie tendra à entraîner la courroie et par conséquent la poulie B ainsi que le disque D, dans le sens de la flèche F_2. Si T est la différence de tension entre les deux brins de la courroie, le couple agissant sera Tr, si r est le rayon de la poulie du moteur et de la poulie en bois. Le point d'articulation d, s'éloignant de la verticale passant par l'axe de la poulie B, on aura un couple résistant dont la valeur sera :

$$Pl \sin dO'O = Pl \sin \alpha,$$

l étant la distance de l'axe d'articulation à l'axe de la poulie B.

Quand l'équilibre sera obtenu on aura :

$$Tr = Pl \sin \alpha.$$

Si N est le nombre de tours du moteur à la minute, la puissance, exprimée en kilogrammètres sera :

$$\mathcal{L}_K = \frac{2\pi NTr}{60} = \frac{2\pi}{60} NPl \sin\alpha = 0{,}1047\, NPl \sin\alpha.$$

l étant exprimé en mètres.

La puissance en chevaux sera :

$$\mathcal{L}_c = 0{,}0014\, NPl \sin \alpha.$$

La puissance en watts sera :

$$\mathcal{L}_w = 1{,}0273\, NPl \sin \alpha.$$

L'angle α est mesuré par le déplacement du disque gradué D devant un index fixe I. Lorsque l'écoulement du liquide lubrifiant

est bien réglé, on a parfaitement le temps de procéder à toutes les opérations : mesure du nombre de tours, lecture du wattmètre, de l'ampèremètre, etc., sans avoir de variation de α, c'est-à-dire de la puissance fournie par le moteur.

Un autre avantage de cet appareil est que l'on peut procéder à plusieurs relevés à des puissances variant dans d'assez grandes limites sans avoir à changer les poids, il suffit d'agir sur les tendeurs de la courroie.

Quand le poids P est trop faible, la tige f vient butter contre une pièce fixe h, de sorte que l'appareil ne peut se renverser.

Ce frein a été employé avec succès à la mesure du rendement de moteurs électriques de faible puissance, par les élèves de l'École supérieure d'Électricité de la Société Internationale des Électriciens.

C. MARÉCHAL,
Chef d'atelier à l'École supérieure d'Électricité.

REVUE INDUSTRIELLE

ET DES INVENTIONS

Accumulateurs Headland (1896) [1].

Les cadres prismatiques cellulaires sont constitués chacun par huit montants : quatre intérieurs B, quatre extérieurs A, réunis par des traverses D D, à bords extérieurs minces ainsi que les montants, de manière à offrir la moindre surface possible en prise aux acides, tout en leur exposant le plus possible la matière active logée en C, et suffisamment divisée pour ne pas s'échapper par le foisonnement. Les figures 6 et 7 représentent un groupement de quatre de ces éléments : deux positifs, reliés en E E F, et deux négatifs,

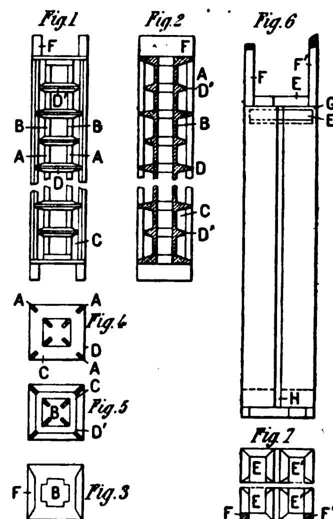


Fig. 1 à 7. — Accumulateur Headland.

en E' E' F', avec isolants G et H en celluloïd.

G. R.

Commutateur Pearson (1895) [1].

Ce contact, disposé pour des bras de sémaphore se compose d'une ampoule A, avec

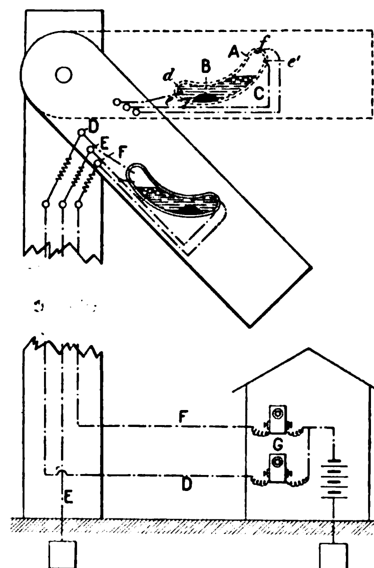


Fig. 1. — Commutateur Pearson.

(1) *Engineering*, 26 février 1897.

(1) *Engineering*, 26 février 1897.

goutte de mercure B dans de la créosote C, ouvrant ou fermant par *de*, *fe*, les circuits D ou F, à terre commune E, reliés au poste-signaleur G, qui commande le sémaphore. La forme de A est telle que le mercure ne ferme jamais ces contacts qu'un instant. La créosote empêche l'oxydation et le filage du mercure et permet de rapprocher les contacts. G. R.

Snr la réaction d'induit des alternateurs unipolaires;

Par M. von Kando [1].

L'auteur montre dans cette étude que si les alternateurs unipolaires présentent sur les machines multipolaires ordinaires quelques avantages de construction, leur supériorité électrique est plus que douteuse, particulièrement au point de vue de la dispersion de l'induit et de son effet sur la chute de tension.

Considérons un alternateur à inducteur unipolaire (fig. 1 et 2) et à deux armatures et imaginons qu'une des dents de l'inducteur soit en face d'une bobine de chaque induit. Le flux magnétique inducteur correspondant à chaque pôle peut se décomposer alors en trois parties :

1° Les lignes de force F_1 passant directement de ce pôle dans la bobine de l'induit placée en regard;

2° Les lignes de force F_2 pénétrant dans la bobine de l'induit disposée entre deux pôles;

3° Les lignes de force F_3 allant d'un pôle inducteur à la carcasse extérieure sans traverser l'armature.

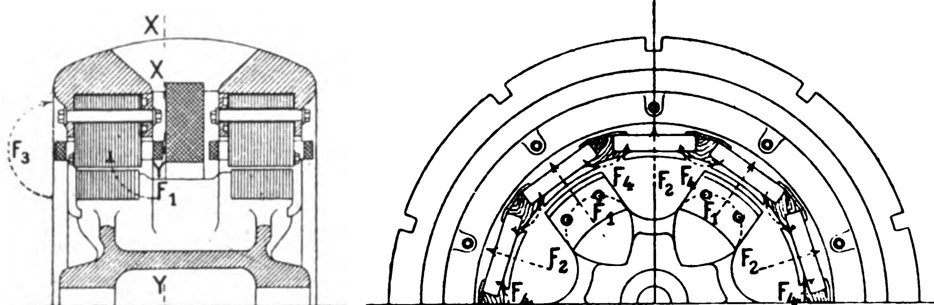


Fig. 1 et 2.

L'auteur a déterminé les valeurs de ces flux pour un alternateur de 200 kilowatts au repos à l'aide de bobinage d'épreuve et d'un galvanomètre balistique. Ces valeurs sont, en pour cent du flux total fourni par la bobine inductrice et divisé par le nombre de dents :

$F_1 = 74$ p. 100.
$F_2 = 8$ »
$F_3 = 18$ »

F_1 est le flux maximum et F_2 le flux minimum dans chaque bobine, la force électromotrice induite est donc proportionnelle à $F_1 - F_2$.

La réaction d'induit ou flux induit peut elle-même être divisée en quatre parties dont trois ont sensiblement les mêmes chemins moyens que les précédentes et la quatrième F'_4 passe directement d'une bobine induite à la suivante sans passer par l'inducteur. Ces quantités ont pour effet de diminuer le flux F_1 et d'augmenter le flux F_2.

Pour obteuir l'effet de cette réaction on considère habituellement le courant de l'induit en court circuit. En tenant compte des résistances magnétiques déduites des valeurs de F_1, F_2, F_3, et des forces magnétomotrices agissant sur ces circuits on trouve que les valeurs des flux sont, lorsque l'induit est en court-circuit et lorsque le courant inducteur a la même valeur qu'à vide :

$F'_1 = 45$ p. 100.
$F'_2 = 11$ »
$F'_3 = 18$ »

[1] *Elektrotechnische Zeitschrift*, du 10 décembre 1896.

avec :

$$F'_4 = 8{,}5$$

Le flux total traversant le noyau inducteur est alors :

$$F'_1 + F'_2 + F'_3 = 74 \text{ p. } 100.$$

La réduction du flux total est d'environ 25 p. 100.

Cette valeur a été contrôlée expérimentalement en fermant l'un des induits en court-circuit et en mesurant la chute de tension résultant de ce fait sur l'autre. Cette chute est de 13 p. 100, le facteur de réduction du flux pour un seul induit en court-circuit est donc de 0,87 ; pour les deux on aurait 0,87×0,87 ou 0,757, chiffre concordant avec 0,74 trouvé par le calcul.

Le rapport des ampère-tours de l'induit à ceux de l'inducteur est évidemment : $\frac{F_1 - F'_1}{F_1}$; dans le cas actuel ce rapport est : $\frac{74 - 45}{74}$ ou 0,392. Expérimentalement on a obtenu 1 950 [1] ampère-tours dans chaque bobine en court-circuit pour 1000 ampère-tours dans l'inducteur; en tenant compte de ce qu'il y a deux induits on a :

$$\frac{2 \times 1950}{1000} = 0{,}59.$$

Le rapport précédent permet à l'auteur d'étudier les variations du courant en court-circuit lorsqu'on modifie un des trois facteurs les plus importants du calcul des dynamos : l'induction, l'entrefer et la vitesse tangentielle.

Si l'on admet une induction de 6 500 pour la demi-différence entre l'induction maxima F_1 et l'induction minima F_2 dans l'induit, la valeur de l'induction maxima dans l'induit pour la marche à vide sera :

$$6\,500 \times 2 \times \frac{F_1}{F_1 - F_2},$$

c'est-à-dire dans l'exemple considéré :

$$6\,500 \times 2{,}24 = 14\,600.$$

En charge ce chiffre serait encore plus grand et pourrait atteindre 17 000, si l'on alimentait des circuits inductifs par suite de l'augmentation de F_2 et de F'_4.

Une induction de 6 500 ne peut être employée qu'avec des induits très bien ventilés et pour des fréquences de 40 à 50 périodes par seconde. Du reste il n'est généralement pas possible de dépasser une induction de 6 000 par suite de la saturation du fer de l'induit.

L'induction est donc limitée dans les alternateurs unipolaires simplement par la saturation.

Laissons fixes toutes les dimensions de la machine sauf l'entrefer et cherchons les variations du courant en court circuit lorsqu'on augmente l'entrefer. Les flux F_2 F_3 et F'_4, sont sensiblement indépendants de la longueur de l'entrefer; F_1 au contraire si l'on ne tient pas compte de la résistance magnétique du fer, variera en raison inverse de la longueur de l'entrefer.

Le tableau suivant donne les variations des ampère-tours d'excitation, du flux total, des rapports $\frac{F_1}{F_1 - F_2}$ et $\frac{F_1 + F_2 + F_3}{F_1 - F_2}$ à vide, le courant en court-circuit et le rapport des ampère-tours d'induit et d'excitation. L'excitation a dans tous les cas les valeurs nécessaires pour obtenir le même voltage à vide :

Entrefer. en mm.	A VIDE				EN COURT-CIRCUIT	
	Ampère-tours d'excitation.	Flux total.	$\frac{F_1}{F_1 - F_2}$	$\frac{F_1+F_2+F_3}{F_1-F_3}$	Intensité du courant.	Amp-tours induits. / Amp-tours inducteurs.
4	0,59	0,86	1,07	1,30	0,77	0,51
6,5	1	1	1,12	1,52	1	0,39
10	1,68	1,22	1,20	1,85	1,23	0,29
13	2,28	1,43	1,28	2,17	1,34	0,23
15	2,74	1,59	1,33	2.42	1,27	0,18

On voit que l'intensité du courant en court-

(1) On a pris ici les valeurs moyennes de l'intensité, l'oscillation du flux produite par celle de la réaction d'induit étant sensiblement détruite par la présence des pièces polaires massives.

circuit passe par un maximum pour un entrefer de 13 mm.

Si l'on voulait conserver le même échauffement et les mêmes inductions, il faudrait avec 13 mm d'entrefer 6 fois plus de cuivre sur la bobine et une section des pièces massives X et Y égale à 1,66 de celle qui correspond à un entrefer de 6,5 mm. La section du fer induit devrait également être augmentée de 20 p. 100.

La section de la bobine inductrice croissant avec l'entrefer, la longueur du circuit magnétique augmente, de plus l'élargissement du fer induit accroît les valeurs de F_2 et F'_4; on voit que l'augmentation de la puissance en passant d'un entrefer de 4 mm à un de 13 mm n'est nullement en rapport avec celle des frais de fabrication. On pourra déterminer par le calcul la valeur de l'entrefer correspondant à un prix de revient minimum par kilowatt.

Le rapport des ampère-tours induits et inducteurs, lequel donne une idée de l'utilisation de l'enroulement inducteur, décroît plus lentement que l'accroissement de l'entrefer.

Le rapport $\frac{F_1 + F_2 + F_3}{F_1 - F_2}$ également considéré par l'auteur montre l'utilisation des matériaux; sa valeur est celle par laquelle il faut multiplier la section des parties massives calculées sans fuites magnétiques pour tenir compte de celles-ci.

Admettons maintenant que le nombre de pôles, la vitesse angulaire, les nombres de spires induites et inductrices, la section du fer induit et l'entrefer restent les mêmes et faisons varier la vitesse tangentielle par augmentation du diamètre.

Si l'on tient compte que la largeur des encoches reste constante, on voit que la longueur de l'induit diminuera plus rapidement que le diamètre. On peut donc admettre que la valeur du flux F_1 reste sensiblement constante (1); F_2 et F'_4 au contraire resteront proportionnels à la largeur de l'induit et F_3 au diamètre. On obtient ainsi les chiffres du tableau suivant :

Vitesse tangentielle.	A vide					En court-circuit	
	Excitation. Amp-tours.	Excitation. Watts.	Flux total.	$\frac{F_1}{F_1 - F_2}$	$\frac{F_1+F_2+F_3}{F_1 - F_2}$	Intensité du courant.	$\frac{\text{Amp-tours induits.}}{\text{Amp-tours inducteurs.}}$
15	1,09	0,71	1,10	1,22	1,67	0,69	0,25
21,25	1	1	1	1,12	1,52	1	0,39
30	0,96	1,26	1	1,07	1,52	1,27	0,52
40	0,94	1,57	1,05	1,05	1,59	1,55	0,65

Pour une même chute de tension le courant en court-circuit et la puissance augmentent avec le diamètre de l'inducteur, tandis que le courant d'excitation et flux total restent à peu près constants. L'énergie dépensée pour l'excitation et partant le poids de cuivre inducteur, sont proportionnels au courant d'excitation.

Les valeurs du courant en court-circuit sont en réalité un peu exagérées, cela tend à ce que $\frac{F_1}{F_1 - F_2}$ diminuant, on peut, pour conserver la même induction, diminuer un peu la section du fer, ce qui abaisse encore F_2. En réalité elles sont proportionnelles au poids du fer dans l'induit.

L'auteur tire finalement de son étude les conclusions suivantes :

1° Lorsqu'on admet une faible chute de tension, il n'y a aucun avantage à construire des alternateurs unipolaires à un seul induit, l'introduction du second induit, sans rien changer à la chute de tension ni à l'excitation augmentant la puissance de 74 p. 100;

2° Le courant en court-circuit varie peu avec l'augmentation de l'entrefer et présente un minimum par une certaine valeur de l'entrefer;

3° Ce courant augmente au contraire avec la vitesse tangentielle, ainsi que le poids de fer de l'induit et celui du cuivre de l'inducteur. Le poids du fer plein reste à peu près constant; aussi pour une puissance constante, on peut diminuer le poids du fer plein par l'augmentation de la vitesse tangentielle;

(1) Le flux augmente évidemment avec le diamètre de la machine, mais l'augmentation du flux traverse le noyau agrandi, et non les parties actives de la machine.

4° Le rapport des ampères-tours induits à ceux de l'inducteur est beaucoup plus faible que celui des machines multipolaires qui varie de 0,64 à 0,7 ; l'utilisation de l'inducteur est donc inférieure à celle de ces machines.

Le coefficient de fuite de l'armature qui est ici $\frac{F_1}{F_1 - F_2}$ varie de 1,05 à 1,33 alors que dans les machines multipolaires il peut être pris égal à un. De même le rapport $\frac{F_1 + F_2 + F_3}{F_1 - F_2}$ qui caractérise les fuites de l'inducteur et varie de 1,30 à 2,42 a dans les bonnes machines multipolaires une valeur voisine de 1,3.

En somme l'avantage n'apparaît que dans la facilité d'obtenir une grande vitesse par suite du mode particulier de construction de la partie tournante. J. R.

Quelques remarques sur les variations de température d'un conducteur parcouru par des courants alternatifs ;

Par Ch.-Eug. Guye [1].

L'auteur établit les formules donnant, dans certaines conditions, la variation avec le temps de la température d'un fil parcouru par des courants alternatifs et en déduit quelques remarques relatives à l'arc à courants alternatifs et à l'emploi des appareils thermiques pour la mesure de ces courants.

L'établissement des formules suppose les conditions suivantes remplies : 1° le conducteur est un fil assez fin ou un ruban assez mince pour qu'on puisse regarder la température comme uniforme dans toute une section ; 2° il est suffisamment long pour qu'il soit permis de négliger la perte par les points d'attache aux extrémités. L'auteur admet en outre, en premier lieu, que le refroidissement par la surface s'effectue suivant la loi de Newton, c'est-à-dire proportionnellement à l'excès de température du fil sur celle de l'enceinte, ce qui est très approximativement exact tant que cet excès ne dépasse pas 50 à 60° C.

Si p est la masse du fil, c sa chaleur spécifique, $d\tau$ la variation de l'excès τ de température pendant le temps dt, la quantité de chaleur que reçoit le fil pendant ce temps, est $pcd\tau$. Cette même quantité est aussi égale à la chaleur résultant de l'effet Joule $\frac{Ri^2}{J}dt$ diminuée de la chaleur perdue par refroidissement $K\tau dt$, R étant la résistance du fil, J l'équivalent mécanique de la calorie et K un coefficient dépendant des dimensions et de la nature du fil et comprenant à la fois le rayonnement, la convection, etc. ; par conséquent

$$pcd\tau = \frac{Ri^2}{J}dt - K\tau dt. \qquad (1)$$

Dans le cas où le courant est sinusoïdal, $i = I \sin 2\pi \frac{t}{T}$, cette équation prend la forme

$$\frac{d\tau}{dt} + a\tau = b \sin^2 \omega t, \qquad (2)$$

où

$$a = \frac{K}{pc}, \qquad b = \frac{RI^2}{Jpc}, \qquad \omega = \frac{2\pi}{T},$$

et en intégrant, on obtient

$$\tau = \frac{b}{2a}\left[1 - \frac{a}{\sqrt{a^2 + 4\omega^2}} \sin(2\omega t + \alpha)\right] + Ce^{-at}, \qquad (3)$$

où

$$\alpha = \text{arc tang} \frac{a}{2\omega},$$

et C une constante d'intégration.

Le dernier terme diminue rapidement avec le temps et n'est pas à considérer si on se borne au cas où le régime permanent est atteint. Alors, d'après le premier terme de la formule : 1° les variations de température ont une forme sinusoïdale de fréquence double de celle du courant ; 2° l'amplitude de ces variations a pour expression $\frac{a}{\sqrt{a^2 + 4\omega^2}}$; 3° les maxima de la température sont décalés par rapport aux maxima du courant d'un angle α qui dépend de la vitesse du refroidissement et de la fréquence du courant.

---

[1] *Archives des sciences physiques et naturelles*, 4e partie, t. III, p. 254-262, 15 mars 1897.

Il est facile de voir que le décalage ne peut dépasser une valeur correspondant à un huitième de période. En effet, les maxima du courant ont lieu pour $\omega t = (2n+1)\frac{\pi}{2}$, n étant égal à 0, 1, 2, ..., et par suite le premier maximum correspondant à $n = 0$, a lieu à l'instant $t' = \frac{T}{4}$. Les maxima de la température ont lieu pour $2\omega t + \alpha = (2n'+1)\frac{\pi}{2}$, n' étant égal à 1, 2, 3, ..., et par suite le premier maximum, correspondant à $n = 1$, a lieu à l'instant $t' = \frac{T}{4}\left(\frac{3}{2} - \frac{\alpha}{\pi}\right)$. Or deux cas extrêmes peuvent se présenter : si le refroidissement est très lent et la fréquence élevée $\frac{a}{2\omega}$ est très petite et l'arc α dont la tangente est égale à ce dernier rapport est lui-même très petit et alors t' est en retard sur t de $\frac{T}{8}$; si, au contraire, le refroidissement est très rapide et la fréquence faible, $\frac{a}{2\omega}$ est très grand et l'arc α voisin de $\frac{\pi}{2}$, de sorte que t' est sensiblement égal à t et le retard nul. Dans les cas intermédiaires le retard se trouvera donc compris entre 0 et $\frac{T}{8}$.

M. Ch.-Eug. Guye examine ensuite le cas où la loi du refroidissement n'est plus l'énoncé simple de Newton.

Traiter ce cas dans toute sa généralité, conduirait nécessairement à des calculs très compliqués, mais, comme le fait remarquer l'auteur, on peut facilement le ramener au précédent, pourvu que les variations de température en régime permanent s'effectuent dans des limites suffisamment étroites.

En effet, si compliquée que soit la loi du refroidissement d'un conducteur parcouru par un courant, on peut toujours en trouver expérimentalement une représentation graphique. Pour cela on fait passer un courant continu dans le fil et quand le régime permanent est atteint on a la quantité de chaleur perdue par unité de temps en faisant le produit de l'intensité du courant par la différence de potentiel aux extrémités du conducteur et divisant par l'équivalent mécanique de la calorie exprimée dans le système d'unités adopté; d'autre part la mesure de la résistance du fil permet d'en connaître la température si on a préalablement étudié la variation de conductibilité du conducteur en fonction de la température. En portant en abscisses l'excès τ de la température du fil sur celle de l'enceinte et en ordonnées la quantité de chaleur perdue correspondante, on obtiendra la courbe du refroidissement.

Or, si sous l'action d'un courant alternatif la température du fil se maintient entre d'étroites limites τ_1 et τ_2, on pourra confondre l'arc A_1A_2 de la courbe de refroidissement correspondant à ces limites avec la tangente en un de ces points et l'on aura pour l'ordonnée de ce point

$$y = (\tau - \tau_0)\,\text{tang}\,\varphi,$$

τ étant l'abscisse du point de contact, τ_0 celle du point où la tangente coupe l'axe des températures et φ l'angle de cette tangente avec cet axe. Par conséquent l'équation exprimant que pendant le temps dt la quantité de chaleur gagnée par le conducteur est égale à celle qui lui est fournie par le courant, diminuée de celle qui est perdue par rayonnement, convection, etc., est

$$pcd\tau = \frac{Ri^2}{J}dt - ydt,$$

ou

$$pcd\tau = \frac{RI^2}{J}dt - (K\tau - K\tau_0)\,dt,$$

en posant

$$\text{tang}\,\varphi = K.$$

Si, après transformation, on intègre cette équation comme on l'a fait pour l'équation (1), il est évident que l'on obtiendra pour τ une expression ne différant de (3) que par un terme constant et donnera en régime permanent

$$\tau = \tau_0 + \frac{b}{2a}\left[1 - \frac{a}{\sqrt{a^2+4\omega^2}}\sin(2\omega t + \alpha)\right];$$

par conséquent les variations de la tempéra-

ture sont de la même forme que lorsqu'on admet la loi de Newton, pourvu que, comme il a été supposé au début, ces variations soient très petites.

Comme application de ces formules aux instruments de mesures thermiques, M. C.-E. Guye considère le cas d'un fil de cuivre nu de 0,01 cm de diamètre. D'après des données de M. Œlschlœger, un tel fil subit dans un air tranquille une élévation de température de 50° sous l'influence d'un courant de 0,67 ampère. Si l'on considère un mètre de ce fil, sa résistance est d'environ 2,47 ohms à 50° et la chaleur dégagée par seconde en calories-grammes 0,265. La constante K de la formule (1) est dans ces conditions 0,0053. La masse du fil étant 0,07 gr et sa chaleur spécifique 0,095, la constante *a* est envi-viron 0,8. D'autre part, comme il est rare que l'on ait affaire à des courants de périodicité inférieure à 30, ω ne descend presque jamais au-dessous de 200. Par suite on peut négliger *a* par rapport à ω et la formule (3) se réduit à la suivante

$$\tau = \frac{b}{2a}\left(1 - \frac{a}{2\omega}\sin 2\omega t\right),$$

qui montre que les oscillations de la température restent comprises entre 1 + 0,002 et 1 — 0,002, le retard étant pratiquement égal à $\frac{T}{8}$.

Relativement à l'arc à courant alternatif, ces formules laissent entrevoir comment il peut y avoir décalage entre les maxima de la température et ceux du courant, ainsi que le professeur Thompson en avait émis l'idée il y a quelques années déjà ; il est probable toutefois que ce décalage est moindre que dans un fil métallique car, à cause de l'importance de la convection et de la haute température de l'arc, K et, par suite, *a* doivent être très grands ; de plus les variations de température seraient plus grandes. Comme les maxima de température coïncident probablement, ajoute M. C.-E. Guye, avec les maxima de la conductibilité de l'arc, on conçoit que cette cause puisse agir avec d'autres pour altérer la forme des courbes représentant la tension et l'intensité dans un arc alternatif. Mais il est fort difficile, dans l'état actuel de nos connaissances sur le refroidissement et la conductibilité de l'arc, d'estimer son importance exacte. Il est néanmoins intéressant de constater que le calcul laisse entrevoir nettement cette catégorie d'effets.

J. B.

Sur un cas singulier de fonctionnement, à vitesse réduite, d'un moteur triphasé ;

Par Hans Görges.

M. Hans Görges signalait dernièrement dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift* un cas singulier de fonctionnement à vitesse réduite d'un moteur triphasé qu'il a observé dans une expérience effectuée par lui pendant les essais d'un ascenseur électrique.

Il est généralement reconnu qu'un moteur asynchrone, triphasé par exemple, tend à tourner avec une vitesse voisine de celle du synchronisme. Le glissement qui se produit entre les valeurs relatives du champ tournant et de l'induit devient nécessaire pour induire les courants dans la partie tournante. Le couple moteur résultant est, abstraction faite des pertes de flux, proportionnel à ce glissement, et l'énergie fournie à l'induit se convertit partie en énergie calorifique d'après le principe de Joule, et partie en énergie mécanique. Cette considération conduit à la relation :

$$\frac{\text{Énergie convertie en chaleur}}{\text{Énergie mécanique utile}} = \frac{\text{glissement}}{\text{vitesse de l'induit}},$$

on en conclut que, avec un glissement de 5 p. 100, par exemple, on aura 5 p. 100 de l'énergie transmise à l'induit convertie en chaleur, de même avec un glissement de 50 p. 100 une fraction équivalente de l'énergie totale sera dissipée par effet Joule. Ce fait, bien connu des praticiens, est la principale cause qui limite l'emploi des moteurs asynchrones dans les applications à vitesse réduite.

La loi ci-dessus, comme l'a démontré antérieurement M. Knauth, n'est rigoureusement exacte que lorsqu'elle s'applique à un moteur avec champ parfait (sans pertes), dont l'induit, constitué par un nombre infini de lamelles, est en circuit fermé sur lui-même, et exempt de résistances extérieures.

Revenons à l'expérience de M. Görges; soit, dit-il, un inducteur ordinaire de moteur triphasé bipolaire dont les trois bobines sont excitées par des courants décalés de 120° Si nous enroulons l'induit de ce moteur de manière que la force magnétisante prenne la direction MN (fig. 1), nous aurons formé

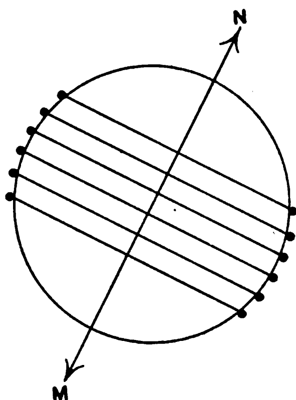


Fig. 1. — Schéma d'un enroulement uniaxial.

un enroulement qui, mis en court-circuit, ne produira qu'un seul flux alternatif et que nous appellerons uniaxial. Par opposition, l'induit représenté en figure 2, qui porte trois de ces enroulements, sera dénommé triaxial; son bobinage est celui d'un moteur triphasé ordinaire à bagues collectrices et frotteurs. Si l'on emploie, comme c'était le cas dans l'expérience, un induit uniaxial, on obtiendra deux vitesses différentes correspondant l'une au régime normal et l'autre à la moitié de la vitesse normale tout en conservant le même couple. Par exemple, si on lance le moteur à vide jusqu'à l'amener au synchronisme et qu'on l'abandonne ensuite à lui-même, il fonctionnera comme tout moteur asynchrone en se maintenant dans une limite voisine du synchronisme, le glissement augmentant naturellement proportionnellement à la charge. Si en fonctionnant dans ces conditions on applique une surcharge au moteur, sa vitesse tombe spontanément à la moitié de sa valeur, l'induit continue de tourner comme si cette demi-vitesse correspondait au synchronisme. Bien entendu, ce régime de demi-vitesse ne peut être atteint que si les résistances passives sont nulles, le couple moteur se réduisant à zéro. On observe pour cette nouvelle période de marche que le glissement devient également proportionnel à la surcharge.

Un autre fait plus remarquable dans cette anomalie de fonctionnement est que si le mo-

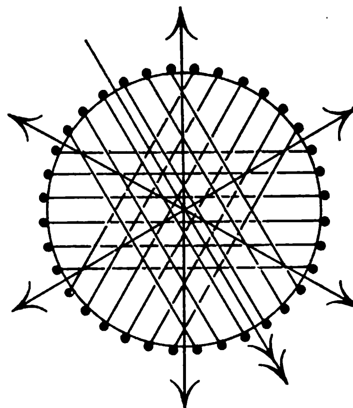


Fig. 2.

teur se trouve entraîné mécaniquement à une vitesse dépassant quelque peu ce demi-synchronisme, il devient générateur, sans s'exciter lui-même et débite du courant au circuit extérieur par ses inducteurs. On a observé de même que le couple moteur était plus puissant à vitesse réduite qu'à vitesse normale, bien que l'échauffement soit moindre que dans ce dernier cas.

L'induit triaxial d'un moteur à champ tournant peut être aisément transformé en induit uniaxial. Il suffit pour cela de réaliser les connexions figurées dans le schéma ci-dessous (fig. 3). Cet enroulement, qui est triaxial, est muni de trois bagues avec les trois balais correspondants; les trois signes + qui sont disposés en trois points équidistants autour

de l'induit figurent le point neutre. Donc si l'on supprime une des phases on donnera lieu à un courant alternatif résultant qui se dirigera dans le sens de la flèche en pointillé. On

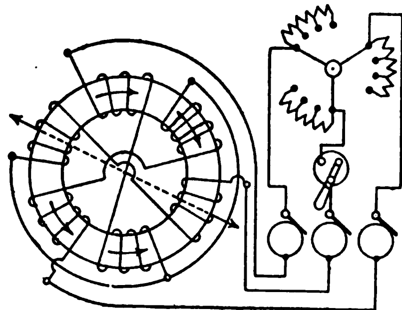


Fig. 3.

aura par suite un enroulement uniaxial possédant les mêmes propriétés que celui dont il a été parlé plus haut. En résumé, avec un moteur muni de bagues collectrices nécessaires pour intercaler les résistances de démarrage, il suffira de soulever un des balais pour obtenir les résultats indiqués ci-dessus.

Les expériences de M. Görges ont porté sur un moteur de ce genre affecté à la commande d'un ascenseur. Sa vitesse initiale de 1 500 tours a pu être réduite à 740 seulement en soulevant un des balais. A la descente, le poids de la cage venant en aide au moteur l'entraînait mais aussitôt que la vitesse de ce dernier atteignait 750 tours, il agissait comme frein, modérant la descente.

Ainsi, comme cette expérience, le prouve, un moteur triphasé à champ tournant, bien qu'étant alimenté par des courants de fréquence constante est susceptible de fonctionner d'une façon stable à des vitesses très différentes.

Quoiqu'il n'ait pu trouver par le calcul l'explication théorique de cette particularité, l'auteur a pu, en traçant les courbes des couples en fonction de l'effet Joule aux différentes vitesses, obtenir celles de la figure 4. On voit qu'à chaque groupe de vitesse correspond un couple maximum et un couple minimum. Il en résulte qu'un moteur ainsi disposé peut fonctionner comme génératrice et comme réceptrice à toutes les vitesses à l'exception de celle correspondant à la demi-vitesse à laquelle le couple devient nul.

Un moteur fonctionnant à vitesse réduite peut être ramené à sa vitesse normale sans l'arrêter, rien qu'en réduisant pendant un

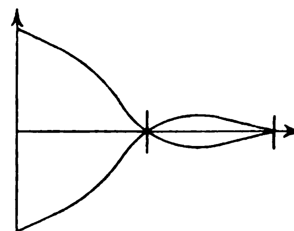


Fig. 4.

moment la fréquence des courants d'alimentation. Avec deux induits enroulés diversement et fonctionnant tous deux à vitesse réduite il a été observé que les pertes par effet Joule sont de deux tiers plus élevées avec un enroulement triaxial qu'avec un uniaxial, d'où il résulte que le rendement de ce dernier est le plus grand. Dans un essai effectué sur un moteur de 53 chevaux d'un rendement, au régime normal, de 80 p. 100, on a constaté qu'à la vitesse réduite ce dernier tombait à 40 p. 100 alors que le moteur fonctionnait en triaxial et se relevait à 60 p. 100, en le rendant uniaxial. La perte en chaleur dans l'induit était de 2 088 watts pour le premier et 434 watts pour le second. Le décalage entre le courant et la force électromotrice induite est nécessairement plus grand dans l'enroulement uniaxial que dans l'enroulement triaxial, le flux inducteur étant le même dans les deux cas.

M. Görges ajoute en concluant que, selon lui, le phénomène qui vient d'être relaté ne peut être considéré que comme un cas particulier devant appartenir à un groupe de phénomènes plus généraux. Les différentes vitesses que l'on peut obtenir avec l'enroulement polyaxial, n'offrent pas une stabilité suffisante quoique pouvant être avantageusement utilisées dans certains cas. L. D.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE DE LONDRES

Séance du 9 avril 1897.

M. T.-A. Garrett présente un *téléphone à noyau de nickel* qu'il a construit en collaboration avec M. W. Lucas.

L'appareil se compose d'une tige de nickel aimanté fixée verticalement et recouverte d'un enroulement en fil fin et isolé. La partie supérieure de cette tige passe à travers un trou de même diamètre découpé dans un diaphragme horizontal en bois mince; ce diaphragme est fixé à la tige à l'aide de cire à cacheter. La magnétisation de la tige et obtenue soit par un aimant placé dans le voisinage, soit par un solénoïde qui l'enveloppe.

Lorsqu'on parle devant le diaphragme, les ondes sonores produisent une pression variable de la tige de nickel; il en résulte une variation dans l'état magnétique du nickel et, par suite, des courants induits dans l'enroulement qui l'entoure. Ces courants, reçus dans un téléphone ordinaire, reproduisent la parole.

L'appareil fonctionne mal comme récepteur, mais si on l'emploie comme transmetteur, ainsi qu'il vient d'être dit, la reproduction des sons est plus nette qu'avec un téléphone transmetteur ordinaire; toutefois les sons sont plus faibles.

Divers essais ont montré qu'un diaphragme en bois de sapin est préférable à un diaphragme métallique et qu'une faible aimantation du nickel donne des sons plus nets et plus intenses qu'une forte aimantation; de ce dernier résultat les auteurs concluent que les courants induits sont bien dus, au moins pour la plus grande partie, aux variations de l'intensité d'aimantation résultant des variations de la pression et non pas à des déplacements relatifs de la tige de nickel aimanté et de la bobine.

A propos de cette communication, M. S.-P. Thompson dit avoir essayé comme récepteur téléphonique un dispositif analogue avec tiges de nickel, de cobalt ou de fer se déplaçant à l'intérieur d'un solénoïde; le cobalt donna les meilleurs résultats, mais en aucun cas l'appareil ne fonctionnait convenablement comme transmetteur, même quand une pile était intercalée dans le circuit. Dans quelques essais les tiges étaient formées de segments de petite longueur des métaux précédents, séparés par du laiton; les résultats ne furent pas meilleurs.

M. Shelford Bidwell dit avoir essayé un téléphone à membrane de mica où le noyau de fer était remplacé par un noyau de nickel; cet instrument ne fonctionnait pas bien.

M. R. Appleyard dit que les électriciens du Post Office n'ont pas obtenu de bons résultats en essayant de substituer le nickel au fer dans les relais téléphoniques. Il fait observer que l'appareil présenté par M. Garrett présente un intérêt historique en ce qu'il est mécaniquement identique à l'appareil utilisé primitivement comme récepteur par Philipp Reiss. Il attribue les bons résultats qu'ont obtenus MM. Garrett et Lucas en l'employant comme transmetteur à la rapidité avec laquelle l'aimantation du nickel suit les plus petites variations de la pression exercée sur ce métal.

Dans une communication sur les *Courants alternatifs dans les conducteurs concentriques*, M. A. Price étudie par le calcul les propriétés d'une nouvelle forme de câble sous-marin qu'il a récemment proposée.

Un tel câble serait constitué par des conducteurs concentriques, formés de tronçons isolés, les points d'interruption se trouvant alternés sur l'un et l'autre conducteur. M. Price suppose ce câble enroulé suivant une circonférence et calcule l'amplitude en un point des ondes périodiques résultant d'une variation périodique du potentiel au point diamétralement opposé, ainsi que le temps qu'elles mettent à se propager. Il

trouve qu'en aucun cas l'amplitude des oscillations et la rapidité de propagation ne peuvent être plus grandes que dans les câbles du type ordinaire.

Ayant expérimenté sur un câble artificiel composé comme il vient d'être dit, M. A. Price a constaté que la netteté des signaux reçus est beaucoup plus grande que celle que l'on obtient avec un câble artificiel de même poids et de même longueur du type ordinaire; entre certaines limites la netteté augmente en même temps que le nombre de sections du câble.

Le professeur W.-B. Morton, dans une note sur *l'effet de la capacité sur les ondes stationnaires électriques dans les fils*, indique les résultats qu'il a obtenus en intercalant un condensateur dans le circuit secondaire de l'appareil employé par M. Blondlot pour la production des ondes stationnaires dans les fils.

La position des nœuds est déterminée au moyen d'un pont formé d'un tube à vide. Quand deux points en regard des deux fils secondaires parallèles sont réunis aux armatures d'un petit condensateur à lame d'air, les nœuds se rapprochent du condensateur et le déplacement des nœuds, c'est-à-dire la diminution de la demi-longueur d'onde, dépend de la position des points reliés aux armatures; l'effet est nul quand ces points se trouvent à des nœuds et il est maximum quand ces points sont au milieu de la distance séparant deux nœuds.

L'auteur montre que ces résultats s'expliquent théoriquement en écrivant que l'état électrique d'un point du circuit est la somme des états dus aux ondes directes et aux ondes réfléchies; il arrive ainsi à une formule reliant la fréquence des oscillations avec la position et la capacité du condensateur et dont les conséquences sont d'accord avec les résultats expérimentaux. J. B.

Préparation du carbure de fer par union directe du métal et du carbone ;

Par Henri Moissan [1].

De nombreuses recherches, dues à divers chimistes, ont montré nettement que l'acier fondu ou recuit renferme un carbure cristallisé répondant à la formule Fe^3C.

Quelques chimistes ayant également mentionné la formation de carbures de fer définis dans les loups de hauts fourneaux, M. Moissan a étudié deux de ces loups; il n'y a rencontré aucun carbure défini. En fondant au four électrique du fer de Suède ou du fer pur en présence de charbon de sucre et laissant refroidir lentement, il n'a pu non plus obtenir de carbure cristallisé : la masse métallique renferme de nombreux cristaux de graphite, mais il n'y a que 1 p. 100 environ de carbure combiné.

Ces essais ont conduit M. Moissan à penser que le carbure pourrait peut-être exister à très haute température, et se détruire presque en totalité en redescendant au point de solidification de la fonte, phénomène dont la chimie offre plusieurs exemples : l'oxyde d'argent, l'ozone, etc., qui dans certaines circonstances se forment à une température bien plus élevée que celle de leur décomposition. Conduit par cette idée, il a refroidi brusquement de la fonte saturée de carbone et a pu obtenir ainsi un carbure métallique riche en carbure de fer, la teneur en carbone combiné s'élevant jusqu'à 5,25 p. 100.

« Dans le but d'obtenir un carbure très pur, on doit éviter la saturation complète de la fonte et empêcher la formation du graphite. Pour cela, on chauffe au four électrique 500 gr de fer de Suède dans un creuset de charbon qui fournira le carbone nécessaire. La chauffe dure 3 minutes avec un courant de 900 ampères et de 600 volts. On ouvre ensuite le four, le creuset est saisi avec des pinces et trempé dans un vase rempli d'eau froide ; l'expérience est sans danger.

[1] *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 716-723, séance du 5 avril.

C'est, en résumé, la répétition de l'expérience qui nous a servi à obtenir le diamant. Seulement, dans cette préparation, que le culot soit bien ou mal réussi, qu'il y ait pression ou non, le carbure se produit toujours.

» La fonte que l'on obtient ainsi est très dure, cassante, souvent d'un aspect cristallin remarquable. Elle ne renferme pas trace du graphite et contient de 3 à 4 p. 100 de carbone combiné.

» Pour séparer les cristaux de carbure de fer, apparents dans le métal, nous avons suivi les méthodes indiquées par MM. Mylius, Fœrster et Schwenz dans leur étude du carbure de l'acier, en les modifiant cependant pour obtenir un produit d'une grande pureté. »

On commence l'attaque du culot en reliant celui-ci au pôle positif d'un élément Bunsen dont le pôle négatif est relié à une plaque de graphite plongée, comme le culot, dans une solution à 7 p. 100 d'acide chlorhydrique; au bout de 24 heures, on enlève toute la partie friable et les fragments de fonte sont placés dans un tube effilé et maintenus pendant trois semaines dans une solution étendue d'acides sulfurique, chlorhydrique et acétique, en évitant tout accès de l'air.

Quand on ne prépare que peu de carbure à la fois, on peut employer des acides plus concentrés et opérer à chaud.

On purifie le carbure de fer qui reste après cette attaque en le laissant séjourner deux heures dans l'acide nitrique fumant, à la température de 35°, qui transforme en composés solubles le carbone libre et le carbure d'hydrogène; on lave à grande eau, à l'alcool, à l'éther et on sèche dans un courant de gaz carbonique à la température de 100°, en ayant bien soin de ne retirer le carbure de ce gaz que lorsqu'il est complètement refroidi.

Ce carbure, qui répond à la formule Fe^3C, a l'aspect du produit retiré de l'acier, mais il se présente en cristaux plus volumineux. Il est d'un blanc brillant, renferme des cristaux brisés et d'autres de formes plus régulières. Sa densité est 7,07 à 16°.

Il brûle dans l'oxygène sec à une température plus ou moins élevée suivant son état de division; dans l'air humide il se décompose assez rapidement. Il brûle dans la vapeur de soufre à 500°, dans le chlore au-dessous de 100°, dans la vapeur de brome vers 100°; la vapeur d'iode l'attaque au rouge sans incandescence. L'acide azotique fumant ne l'attaque pas à froid; les acides étendus l'attaquent moins rapidement que le fer. L'eau pure n'a pas d'action au-dessous de 150°

J. B.

Nature des diverses espèces de radiations produites par les corps sous l'influence de la lumière.

Par Gustave Le Bon [1].

Dans cette note M. Gustave Le Bon revient sur les expériences qu'il a faites l'an dernier [2].

Suivant M. Le Bon, la lumière, en frappant un corps quelconque, engendre deux espèces de radiations obscures, qui mélangent parfois leurs effets dans certaines expériences: les unes sont tout simplement de la lumière ordinaire qui reste à l'état de résidu sur les corps illuminés et qui est identique à la phosphorescence dont elle ne diffère que par son invisibilité; les autres constituent la lumière noire.

Ces radiations obscures sont capables de décharger un électroscope mais ne peuvent le charger. Comme exemple M. Le Bon cite les expériences suivantes: « Une plaque de zinc, amalgamée depuis quelques minutes, posée sur le plateau d'un électroscope chargé négativement ou même agissant à petite distance par rayonnement sur le plateau (charge positive dans ce second cas), produit une décharge de 10° en deux secondes. L'aliminium frotté à l'émeri produit la même décharge en cinq secondes. Une feuille d'argent demande plus d'une heure. »

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 755, séance du 5 avril.

(2) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VI, 247, 307, 419, 508, 511.

Ces mêmes radiations possèdent la propriété de traverser les écrans électriques. « Si l'on pratique, dans la cage de Faraday enveloppant l'électroscope, une fenêtre fermée par une feuille de zinc ou d'aluminium de 1/10 de mm d'épaisseur longtemps nettoyée, et qu'on expose le métal à la lumière, on obtient une décharge très lente (2° ou 3° par heure, déduction faite de la perte de l'instrument, mesurée avant et après chaque opération). »

Quant à l'impression d'une plaque photographique, annoncée l'an dernier par M. Le Bon et qui était contestée par de nombreuses personnes, faute d'avoir pu réussir les expériences de celui-ci, elle paraît mieux établie. Le professeur de Heen, qui a aidé M. Le Bon dans ses nouvelles expériences, a constaté qu'une des conditions essentielles de réussite était de voiler légèrement la plaque avant son exposition; le voile, qui se produit toujours plus ou moins par le fait seul qu'on manie la plaque sensible devant la lanterne rouge du laboratoire, est généralement insuffisant; il faut avoir recours à la lumière d'une bougie pendant un très court moment.

Les principales objections faites aux anciennes expériences de M. Le Bon étaient que, par suite du dispositif adopté, la chaleur, la pression du corps placé contre la plaque sensible elle-même, la lumière infiltrée, etc., pouvaient fort bien rendre compte des résultats obtenus sans avoir recours à l'hypothèse de radiations nouvelles. Pour faire disparaître ces objections, M. Le Bon emploie le dispositif suivant :

« On prend un châssis 9 × 12 pour positifs et l'on remplace sa plaque de verre par une plaque d'ébonite polie ayant 5/10 à 7/10 de mm d'épaisseur. Sur la face extérieure de cette plaque, c'est-à-dire sur la face tournée vers la lumière, on pose ou l'on colle, pour éviter leurs déplacements, des lettres découpées dans une feuille de métal (zinc, aluminium, platine ou étain, par exemple), de 1/2 mm d'épaisseur. Puis, dans l'obscurité du laboratoire, on retire de son paquet une plaque sensible [1] qu'on voile légèrement en ouvrant et en refermant rapidement la lanterne. On l'introduit ensuite dans le châssis dont les lettres métalliques sont, comme on le voit, séparées de la plaque sensible par la feuille d'ébonite et il ne reste plus qu'à exposer au jour et à l'ombre pendant 3 heures [2]. Après le développement, on obtient l'impression en noir intense des lettres se détachant sur fond clair. C'est donc, comme on le voit, sur les parties qui, théoriquement, auraient dû être le mieux protégées contre l'action de la lumière que s'est faite l'impression. Cette expérience, répétée à la Sorbonne sous les yeux de M. le professeur Lippmann par ses préparateurs, a toujours réussi. »

Pour montrer que l'impression ne peut être attribuée à la chaleur, M. Le Bon a répété cette expérience dans une étuve obscure chauffée à 40°; aucune image ne s'est produite, en la répétant à la lumière et à une température voisine de 0°, elle réussit.

M. Le Bon a également réussi avec le dispositif suivant : les lettres métalliques ou d'autres corps quelconques sont enfermés dans une boîte d'ébonite entièrement close au-dessous de laquelle est une plaque sensible. On obtient une silhouette très nette des objets enfermés dans la boîte. L'ébonite peut d'ailleurs être remplacée par un corps opaque quelconque; mais alors l'exposition à la lumière doit être très longue et il est parfois nécessaire de faire intervenir une température élevée, ce qui n'est jamais le cas avec l'ébonite.

Enfin, en éclairant le châssis avec les diverses couleurs du spectre, M. Le Bon a constaté que la lumière rouge semblait la plus active.

J. B.

---

(1) Toutes les marques de plaques, les plaques rapides surtout, ne sont pas impressionnées par ces radiations. On obtient des succès tout à fait constants avec les pellicules Carbutt. Les plaques lentes pour reproduction Graffe et Jougla réussissent assez bien dans la plupart des cas.

(2) Si l'impression était faite au soleil, et trop prolongée, il pourrait arriver, non seulement qu'on n'eût pas d'image, mais encore que le voile fût détruit entièrement. Les radiations obscures agissent, dans ce cas, en sens inverse de la lumière.

Rotations dans un champ électrique constant;

Par G. Quincke (1).

Le champ électrique constant dont il s'agit est l'espace compris entre les deux armatures d'un condensateur séparées par de l'air ou un liquide isolant et qui d'autre part sont en communication métallique avec les pôles d'une batterie de bouteilles de Leyde ou d'une batterie d'accumulateurs. Si on relie ces armatures aux pôles d'une bobine d'induction, on obtient un champ électrique alternatif. Lorsqu'on suspend dans ce champ alternatif des substances isolantes sous forme de baguettes, de disques, de sphères ou de cylindres, elles s'orientent de manière que leur plus grande dimension ou leur ligne médiane soit parallèle ou perpendiculaire aux lignes de force électrique. Dans un champ constant les mêmes corps se mettent à tourner dès que les armatures du condensateur se trouvent dans un liquide isolant.

Par exemple, un cristal de quartz dont l'axe cristallographique est horizontal, placé entre les armatures dans l'éther, s'oriente parallèlement aux lignes de force quand le champ est de faible intensité. Si on accroît l'intensité du champ, le cristal se met à tourner et exécute des oscillations de plus en plus grandes; par exemple, il fait, pour une valeur assez élevée de la différence de potentiel, cinq demi-tours vers la droite en 24 secondes et ensuite cinq demi-tours vers la gauche pendant le même temps. Cette rotation se poursuit pendant des heures quand on laisse décroître lentement la différence de potentiel. Quand on intervertit le signe des armatures, le cristal reste quelques instants en repos, puis recommence à tourner.

Les mêmes phénomènes ont été observés sur les substances suivantes : quartz, spath d'Islande, aragonite, topaze, mica, tourmaline verte et transparente, soufre (en cristaux naturels ou en disques et sphères taillées), crown et flint (en disques et en sphères), gomme laque, flint et verre de Thuringe (en baguettes).

Les rotations se produisent aussi bien quand les armatures sont bombées que si elles sont planes : dans l'éther, dans le sulfure de carbone, dans des mélanges d'éther et de sulfure de carbone, d'essence de térébenthine et de sulfure de carbone, dans la benzine, l'essence de térébenthine, l'huile minérale ou l'huile de colza. Seulement la rotation commence à une différence de potentiel d'autant plus élevée que le liquide est plus visqueux.

Les sphères paraissent conserver la même vitesse de rotation dans des expériences faites à plusieurs mois ou même à plusieurs années de distance, ou bien quand elles séjournent dans le liquide pendant des jours et des semaines. Au contraire, dans l'air on n'a jamais observé de rotation.

Lorsque les armatures du condensateur sont reliées non plus aux pôles d'une batterie de bouteilles de Leyde, mais aux pôles d'une batterie d'accumulateurs (2 400 volts), le petit cristal de quartz cité plus haut plongé dans le sulfure de carbone fait 5 demi-tours en 2,4 secondes.

Des mesures comparatives faites dans l'air, l'éther et le sulfure de carbone, sur une tourmaline verte et sur une topaze blanche, pour différentes valeurs de la différence de potentiel, il résulte que :

La durée totale de la rotation augmente lentement avec la différence de potentiel; l'amplitude de la rotation augmente rapidement; la vitesse angulaire moyenne croît aussi rapidement.

Les conditions les plus simples sont celles d'une sphère oscillant entre les armatures planes d'un condensateur. M. Quincke a mesuré pour un certain nombre de bons isolants le temps T qui s'écoule entre deux instants où la rotation change de sens, et a compté le nombre Φ de demi-tours effectués pendant cet intervalle. Si on appelle τ le moment de torsion du fil de suspension, le produit $\tau\,\Phi$, donne au moins dans une pre-

(1) *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 417-487.

mière approximation, la grandeur du moment des forces électriques qui agissent sur la boule. La valeur de τ se détermine par la méthode des oscillations libres.

Dans un champ alternatif (différence de potentiel moyenne = 1 250 volts), une sphère de quartz, soit dans l'air, soit dans les différents diélectriques liquides s'oriente de manière que son axe optique soit parallèle aux lignes de force; les sphères de spath, d'aragonite, de soufre, s'orientent de manière que l'axe ou leur ligne de symétrie soit perpendiculaire aux lignes de force.

La durée d'une période de rotation croît peu quand la différence de potentiel augmente; dans la benzine elle reste constante dès que la différence de potentiel atteint une valeur un peu notable. En général, les sphères de matière différente mais de mêmes dimensions, placées dans le même liquide, ont à peu près la même vitesse de rotation moyenne, quand la différence de potentiel entre les armatures du condensateur est la même.

Les phénomènes observés avec les sphères creuses sont à peu près les mêmes mais affectent une allure moins régulière.

Des cylindres de verre suspendus entre les armatures du condensateur, dans la benzine ou dans le sulfure de carbone prennent, aussi un mouvement de rotation. La rotation d'un cylindre de flint plongé dans la benzine cesse brusquement, quand l'appareil a été maintenu quelque temps à + 5°. La vitesse de rotation moyenne pour une même différence de potentiel croît quand la température s'élève et quand la viscosité du liquide diminue. Un cylindre creux de flint tourne dans la benzine comme un cylindre plein, quoiqu'un peu plus lentement. Mais si le cylindre creux rempli de benzol également est plongé dans l'air, il n'éprouve aucune rotation.

Une sphère de quartz ou un cylindre massif de flint ne tournent plus dans le champ électrique quand leur surface est recouverte d'argent. Si on transforme cet argent en iodure, la rotation se produit de nouveau dans le sulfure de carbone, mais non dans la benzine; mais le phénomène est régulier avec le quartz seulement, non avec le verre.

Les sphères ou les cylindres métalliques n'ont pas de vitesse de rotation constante.

Condensateur horizontal. — Dans les précédentes expériences, les corps tournaient autour d'un axe normal aux lignes de force; on peut aussi observer des rotations autour d'un axe parallèle à ces lignes de force. Le condensateur est disposé horizontalement et les corps à expérimenter sont suspendus encore à un fil vertical. La rotation ne commence que sous une très grande différence de potentiel, bien supérieure à celle qui suffit à provoquer la rotation autour de la direction normale aux lignes de force.

Déviation des lignes de force. — La rotation des corps suspendus entre les armatures et celle de la couche de liquide qui adhère à leur surface, entraînent une déviation des lignes de force. On constate en effet une déformation des surfaces équipotentielles et la différence de potentiel mesurée entre deux points voisins de la surface du cylindre peut varier des 0,06 de la différence totale entre les armatures, quand on intervertit le sens de la rotation.

Influence de la distance des armatures. — La vitesse moyenne de rotation, pour une même différence de potentiel, ne paraît pas dépendre de la distance des armatures. Tout au moins les variations observées ne dépassent pas celles qui se produisent dans des expériences effectuées dans des conditions identiques.

Attraction ou répulsion de deux sphères qui tournent dans un champ électrique constant à l'intérieur d'un liquide isolant. — La ligne qui joint les centres des deux sphères peut être normale ou parallèle aux lignes de force. Les sphères qui n'effectuent pas de rotation s'attirent quand elles sont dans la position parallèle et se repoussent quand elles sont

dans la position normale, aussitôt qu'on établit le champ électrique. Si les sphères tournent en sens contraire, il en est de même mais de plus la ligne des centres se déplace parallèlement à elle-même, dans la direction où se meuvent les parties des deux sphères qui se font face. Les sphères qui tournent dans le même sens s'attirent dans la position normale et se repoussent dans la position parallèle. En même temps les fils de suspension décrivent un cône à axe vertical dans le même sens de rotation que celui des sphères; la ligne des centres décrit donc un plan horizontal dans ce même sens; par suite les sphères passent de la position normale à la position parallèle et leur attraction se change en répulsion. Les sphères creuses se comportent en général comme les sphères massives.

Les phénomènes qui viennent d'être décrits peuvent être appelés *normaux*, mais on observe aussi d'autres attractions ou répulsions qui sont différentes des précédentes. Par exemple, deux sphères creuses, placées dans un champ, d'une intensité déterminée s'attirent dans la position parallèle et se repoussent dans la position normale ; parfois elles exécutent des oscillations parallèlement à la direction des lignes de force.

D'autre part, les phénomènes électriques sont troublés par les mouvements du fluide environnant les sphères; il en résulte des attractions et des répulsions apparentes, analogues à celles qu'ont observées sur les sphères pulsantes Sir William Thomson et Guthrie, Bjerkness, etc.

M. Quincke a fait un grand nombre d'expériences sur ces attractions et répulsions hydrodynamiques, avec des sphères disposées comme dans les expériences électriques et auxquelles il communiquait mécaniquement un mouvement de rotation. Si la sphère se trouve au voisinage d'une paroi verticale plane et rigide, elle éprouve les mêmes répulsions et attractions que si la paroi était supprimée et remplacée par une sphère, image de la précédente dans la paroi et tournant dans le sens opposé.

De même, dans les phénomènes électriques, la sphère est attirée ou repoussée par une paroi plane comme elle le serait par son image dans cette paroi, si cette image tournait en sens contraire.

Mouvements du liquide. — Lorsque la sphère tourne dans le champ électrique à l'intérieur d'un mélange de deux liquides dont les densités sont différentes, les deux liquides se séparent à cause de leur différence de densité, la force centrifuge agit inégalement sur chacun et le plus dense forme dans le plan équatorial de la sphère un mince ruban qui s'enroule en spirale à ses deux extrémités. On peut d'ailleurs reproduire ce phénomène en faisant tourner la sphère par des moyens mécaniques. On observe aussi des tourbillons au voisinage des armatures du condensateur, même quand ces armatures sont recouvertes de feuilles de mica. Cependant les sphères prennent un mouvement plus lent et finissent par s'arrêter quand on recouvre ainsi les armatures : le mouvement recommence quand on relie métalliquement les armatures ou qu'on les électrise en sens contraire.

L'introduction des feuilles de mica modifie la répartition des potentiels, et il faut un temps assez long pour que la différence de potentiel, mesurée entre deux points du champ, redevienne constante.

Déformations et mouvements d'une bulle d'air. — Une bulle d'air qui se trouve dans le liquide isolant entre les armatures du condenseur s'allonge dans la direction des lignes de force lorsqu'on charge le condensateur. Le condensateur est horizontal et la bulle touche seulement l'armature supérieure. Cette déformation s'explique par l'existence d'une pression normale aux lignes de force et dont la valeur serait déterminée par l'équation :

$$p - p_0 = \frac{K - 1}{8\pi} \frac{P^2}{a^2}$$

dans laquelle K est le pouvoir inducteur spécifique du liquide, P la différence de

potentiel entre les armatures et à leur distance. Les bulles éprouvent en même temps une contraction dans le sens perpendiculaire aux lignes de force et cette contraction est environ la moitié de la dilatation : l'une et l'autre sont proportionnelles au carré du champ, comme le fait prévoir la théorie.

Lorsque le condensateur est vertical, les bulles s'allongent parallèlement aux lignes de forces et se contractent dans le sens perpendiculaire. En même temps les bulles effectuent des mouvements assez prononcés, comme si leur surface tournait rapidement autour d'un axe vertical.

Phénomènes anormaux. — En général, comme il a été dit, les sphères et les cylindres tournent avec une vitesse angulaire qui paraît constante. Mais on observe aussi parfois des variations brusques de la vitesse, surtout quand le fil de suspension est long et la vitesse faible. Souvent quand les sphères ont séjourné longtemps dans un liquide isolant, elles ont perdu la propriété de tourner dans le champ électrique à l'intérieur d'un autre liquide ; elles reprennent cette propriété quand on les suspend dans l'air sous une cloche pendant plusieurs jours. Comme l'ensemble des expériences semble établir que les forces qui produisent la rotation ont leur point d'application sur la surface de la sphère, il est naturel d'attribuer le phénomène qui vient d'être signalé à une mince couche de liquide restant adhérente à la sphère. Il suffit du reste que l'épaisseur de cette couche soit du même ordre de grandeur que le rayon d'activité des forces capillaires, soit 5.10^{-8} mm.

Explication de la rotation dans le champ électrique constant. — Les mouvements de rotation dont il est question s'expliquent par la présence d'une mince couche d'air à la surface des corps en mouvement et par les différences de pression provoquées par le champ électrique.

En effet, dans tout liquide isolant placé entre les armatures d'un condensateur s'exercent une tension dans la direction normale aux lignes de force et une pression dans la direction de ces lignes ; cette tension et cette pression sont égales en valeur absolue et ont pour expression :

$$p = \frac{K}{8\pi} \frac{P^2}{a^2},$$

comme il a été rappelé ci-dessus ; K représente le pouvoir inducteur spécifique du diélectrique, qui pour l'air est égal à 1. A la surface de séparation du liquide et de l'air règne donc une différence

$$p - p_0 = \frac{K - 1}{8\pi} \frac{P^2}{a^2},$$

de pression dans la direction des lignes de force, de tension dans la direction perpendiculaire. Supposons qu'il s'agisse d'une sphère plongée dans le liquide. Aux extrémités B et B′ du diamètre perpendiculaire aux lignes de force, cette différence de pression est dirigée de l'extérieur vers l'intérieur de la sphère et tend par conséquent à diminuer l'épaisseur de la couche d'air. Aux extrémités du diamètre A et A′ parallèle aux lignes de force, la différence de pression est dirigée au contraire vers l'extérieur de la sphère et tend à accroître l'épaisseur de la couche d'air. De plus le liquide est aussi appelé par les forces électriques de A et de A′ vers B et B′, d'autant plus énergiquement que la différence des épaisseurs de l'air entre A et B, A′ et B′ est plus grande. Cette différence d'épaisseur doit donc dépendre des pouvoirs inducteurs K et K_1 du liquide et de la sphère.

Avant l'introduction de la sphère, le champ électrique était homogène à l'intérieur du liquide : il cesse de l'être quand la sphère est placée entre les armatures, puisqu'elle possède un pouvoir inducteur différent de celui du liquide. La répartition des lignes de force est toujours symétrique autour de leur direction primitive ; mais l'intensité du champ est devenue différente en B et B′ de ce qu'elle est en A et A′, cette différence peut modifier aussi l'épaisseur de la couche d'air.

Lorsque la sphère, pour une raison quelconque, prend un mouvement de rotation,

dans le sens opposé à celui des aiguilles d'une montre, par exemple, elle entraîne avec elle la couche d'air plus épaisse qui est en A et A'; au contraire les forces électriques tendent à ramener l'air vers cette région et chassent le liquide et la matière solide de la sphère dans des directions opposées à partir de ces points. Il se produit un mouvement continuel de l'air dans la couche mince parallèlement à l'équateur horizontal de la sphère, dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre. Par suite de la réaction, le liquide et la sphère se mettent à tourner dans le sens opposé.

Quant aux particularités de ce mouvement, il est impossible de les préciser, à cause de notre ignorance sur la nature et la grandeur des forces moléculaires qui entrent en jeu.

Si la sphère est formée d'une substance cristallisée, la répartition des lignes de force se modifie périodiquement pendant la rotation, ce qui entraîne des variations du couple électrique.

La sphère tourne jusqu'à ce que le couple de torsion du fil fasse équilibre au couple électrique et à la force vive de la masse en mouvement tant du solide que du liquide entraîné par suite de sa viscosité; puis elle revient en sens contraire, dépasse la position d'équilibre et ainsi de suite.

Naturellement une mince couche d'un liquide dont le pouvoir inducteur est à la fois différent de celui de la sphère et de celui du liquide ambiant agit comme la mince couche d'air.

Les variations observées dans la durée et la vitesse de la rotation pendant les expériences prolongées s'expliquent par des variations d'épaisseur de la couche d'air, soit qu'elle cède de l'air au liquide ambiant, soit qu'elle en reçoive de lui.

Les rotations autour d'un axe parallèle à la direction des lignes de force sont dues à une répartition inégale de la couche d'air sur les parois de la sphère ou du cylindre; aussi elles sont plus lentes et ne se produisent que sous l'action d'un champ plus intense.

Les frottements tant intérieurs qu'extérieurs dans ces couches extrêmement minces d'air et de liquide doivent aussi influer sur les rotations électriques; mais il est actuellement impossible de calculer cette influence.

Enfin il est permis de supposer que le pouvoir inducteur spécifique de l'air et des liquides en couches aussi minces n'a pas la même valeur que dans les couches d'épaisseur notable; cette hypothèse est même très vraisemblable d'après ce que nous savons sur ce sujet. M. L.

Décharges oscillantes des condensateurs;

Par A. Busch [1].

L'auteur s'est proposé de répéter les expériences de von Œttingen, en supprimant quelques causes d'erreur qu'on peut objecter à ces dernières.

La méthode consiste, comme on le sait, à mesurer la charge primitive du condensateur, puis la charge résiduelle lorsqu'on interrompt la décharge à une époque connue.

1° *Disposition de l'expérience.* — Le circuit de décharge du condensateur est aussi simple

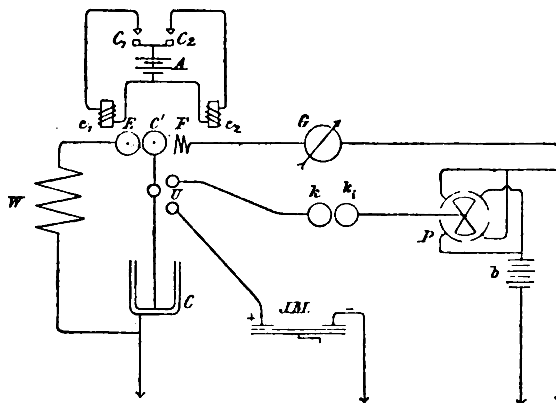


Fig. 1.

que possible. La décharge traverse seulement l'interruption C'E sous forme d'étincelle et si on le veut, une résistance W (fig. 1). La boule C' communique avec l'armature interne de la bouteille, dont l'armature externe est

[1] *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 595-637.

reliée au sol et à la boule E. La source d'électricité est une machine de Wimshurst JM, dont le conducteur négatif communique avec le sol et le conducteur positif avec l'un des godets du commutateur U. Au moyen de ce commutateur, on peut mettre l'armature C′ du condensateur en communication avec la machine, ou avec l'électromètre P. Ce dernier instrument est un électromètre Mascart ordinaire; comme il n'est pas susceptible de mesurer directement les potentiels élevés qui sont utilisés, on effectue la mesure en déterminant la charge que l'électromètre prend par influence. C'est à cet usage que servent les deux sphères de laiton k, k_i; ces sphères sont mastiquées aux extrémités d'un bâton de verre courbé deux fois à angle droit, mastiqué lui-même sur le fond d'un vase de verre; le vase est rempli d'huile de paraffine chaude et le bâton enduit à chaud de la même huile, pour éviter le dépôt d'humidité à sa surface et les déperditions d'électricité. La distance des deux sphères est réglée de manière à obtenir des déviations d'une grandeur facilement mesurable. Les deux paires de quadrants de l'électromètre sont reliées respectivement aux deux pôles d'une pile de 8 éléments à eau; le pôle négatif est aussi relié au sol.

Au-dessus de E, on voit figuré schématiquement le dispositif servant à provoquer la décharge après que la machine de Wims-

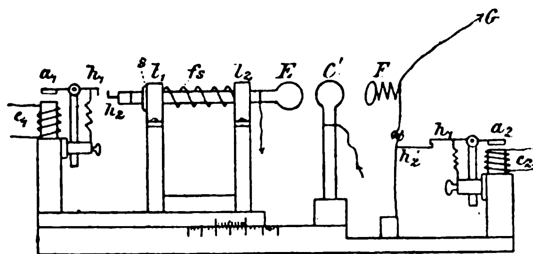


Fig. 2.

hurst a été retirée du circuit. Cette partie de l'appareil est représentée en plus grand sur la figure 2. Lorsque l'électro-aimant est excité, il attire l'armature a_1; les deux crochets h_1 et h_2 se dégagent et la tige de verre qui porte la boule E est libre de s'avancer vers C′ sous l'action du ressort f. L'étincelle éclate alors entre E et C′ quand les deux boules se sont suffisamment rapprochées. La course de E et par suite la distance minima à laquelle il peut approcher de C′ est déterminée par la position de l'arrêt s. Il est inutile de tenir compte ici des retards à la décharge qu'ont observés certains auteurs, en particulier M. Jaumann [1]. La vitesse de la décharge est tellement grande relativement à la vitesse avec laquelle se déplace E, qu'il n'y a pas à se préoccuper non plus du petit déplacement de E pendant la durée de la décharge.

D'autre part, lorsque l'électroaimant e_2 est excité, il attire l'armature a_2, dégage les crochets h'_1 et h'_2 et le ressort F reprend sa position normale, c'est-à-dire vient en contact avec C′; à partir de ce moment, le reste de la charge se rend au sol par l'intermédiaire du galvanomètre G.

Les électro-aimants sont excités l'un après l'autre à un intervalle de temps connu; leur circuit est fermé pendant un temps très court par un poids qui tombe et rencontre successivement deux contacts placés l'un au-dessus de l'autre. La distance verticale des deux contacts peut varier et par conséquent la durée de la décharge; d'après cette distance et la vitesse de chute du poids, on peut aussi calculer cette durée.

2° *Résultats.* — Des mesures ont été effectuées avec 7 résistances différentes, variant de 0,15 ohm à 46 ohms et dont l'une formée par l'un des enroulements d'une bobine d'induction atteignait 1680 ohms.

Des expériences préliminaires ont permis de s'assurer qu'une légère variation de l'intervalle de temps qui sépare la décharge et la mesure du résidu et de celui qui sépare l'établissement des contacts e_1 et e_2 n'a pas d'influence appréciable sur les résultats.

Les résidus négatifs, c'est-à-dire les décharges oscillantes, ont été observés seule-

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 137, 18 janvier 1896.

ment lorsque le circuit renfermait la bobine de 1680 ohms. Lorsque le condensateur était formé d'une seule bouteille, les résidus étaient faibles; les résidus négatifs, toujours plus petits que les positifs ne pouvaient pas toujours être observés d'une manière certaine. Avec 2 bouteilles, les conditions sont plus favorables et on a obtenu 10 résidus négatifs sur 20. Avec 4 bouteilles, on a de nouveau un cas peu favorable et sur 30 résidus, 8 seulement sont négatifs. Du reste, les mesures sont troublées par la charge résiduelle du verre des bouteilles.

On peut éliminer ces perturbations en employant un condensateur à lame d'air. Ce condensateur est formé de 20 disques de zinc ayant un diamètre de 20 cm et une épaisseur de 1 mm; ils sont maintenus assemblés à 2 mm de distance par trois peignes en ébonite. Comme la capacité d'un condensateur à lame d'air est très faible en comparaison de la capacité d'un condensateur à diélectrique solide, on rapprochait les sphères k et k_i, pour que la déviation de l'aiguille de l'électromètre fût facilement mesurable. Le résidu était mesuré directement par l'électromètre; pour pouvoir le comparer à la charge primitive, on détermine auparavant le coefficient d'influence des deux sphères k.

Les résidus du condensateur à lame d'air sont fréquemment négatifs quand le circuit de décharge renferme la résistance de 1680 ohms.

En plongeant le précédent condensateur dans le pétrole, l'auteur a trouvé qu'il ne se chargeait plus; il attribue ce fait à ce que l'épaisseur du liquide qui sépare les armatures, étant trop faible, les charges se perdent par convection.

En résumé, les résidus négatifs se sont présentés seulement quand le circuit de décharge renfermait la grande bobine; cette circonstance prouve que la self-induction joue un rôle assez important dans la production des résidus négatifs. L'influence de la capacité est démontrée par ce fait que les résidus négatifs sont plus fréquents avec les 2 bouteilles qu'ils ne le sont avec 1 ou 4 bouteilles.

La longueur de l'étincelle ne doit avoir aucune influence, d'après Feddersen, tandis que von Œttingen croyait avoir observé une variation périodique de la grandeur du résidu quand cette longueur variait. Mais il paraît difficile de faire des expériences systématiques sur ce sujet, car la grandeur du résidu varie notablement d'une expérience à une autre, faite dans des conditions en apparence identiques.

Finalement, l'auteur met en doute que les résidus négatifs caractérisent la décharge oscillante.

Cette conclusion est à peu près le seul résultat nouveau de son travail et il ne paraît pas d'ailleurs que la méthode en elle-même soit susceptible de nous donner des renseignements précis sur les phénomènes de la décharge. M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Le four électrique, par Henri Moissan, membre de l'Institut. — Un volume in-8° de 385 pages. — *G. Steinheil*, 2, rue Casimir-Delavigne, éditeur, 1897.

L'exposé des belles recherches de M. Moissan sur le four électrique, recherches qui ont donné naissance à une branche des applications de l'électricité dont le développement va chaque jour s'agrandissant, était jusqu'ici disséminé dans divers périodiques : les *Comptes rendus*, les *Annales de chimie et de physique*, *La Lumière Électrique*. Un exposé méthodique des nombreux résultats acquis s'imposait; M. Moissan l'a compris et, avec juste raison, « il a cru devoir réunir ces résultats pour en faire mieux comprendre l'importance ».

Dans sa préface, M. Moissan rappelle l'origine de ses travaux sur la chimie des hautes températures. « L'étude des fluorures de phosphore, m'a conduit, dit-il, après bien des tâtonnements et des recherches, à l'isolement du fluor. Lorsque j'ai su manier ce nouveau corps simple, j'ai pensé à utiliser ses réactions si énergiques à la reproduction du carbone cristallisé. Tout d'abord j'ai démontré qu'il était facile de préparer deux fluorures de carbone gazeux. Mais ces gaz ne m'ont

fourni, par leur décomposition pyrogénée, que du noir de fumée. Si ces composés fluorés ne m'ont pas donné les résultats espérés, ils m'ont amené à reprendre l'étude méthodique des trois variétés de carbone et à rechercher leurs moyens de transformation. Reconnaissant alors que la pression avait dû intervenir je me suis servi de l'augmentation de volume qu'éprouve la fonte, au moment où elle passe de l'état liquide à l'état solide, pour obtenir une pression très énergique. Cette expérience est réalisée vers 1000°, mais comme j'avais besoin de faire dissoudre beaucoup de carbone dans ma fonte, j'ai dû porter ce métal à une température très élevée. De là, l'invention de mon four électrique ».

Ainsi donc la nouvelle industrie de la fabrication du carbure de calcium a pour origine une recherche purement scientifique : l'étude des trois variétés du carbone. Il n'était pas inutile de le dire, pour servir de leçon à ceux — de moins en moins nombreux, fort heureusement — qui, réservant toute leur sollicitude pour les essais industriels affectent un certain dédain pour les recherches de laboratoire.

Celles-ci d'ailleurs ne manquent pas d'attraits. « Ce que je ne puis rendre dans ces chapitres successifs, continue en effet M. Moissan, c'est la joie que j'ai éprouvée à poursuivre toutes ces découvertes. Marcher dans un sillon nouvellement ouvert, se sentir les coudées franches et voir surgir de tous côtés de nouveaux sujets d'étude, procure un bonheur que ceux-là seuls, qui ont éprouvé l'âpre plaisir de la recherche, peuvent entièrement comprendre. »

L'ouvrage est divisé en quatre chapitres. Dans le premier, l'auteur décrit les différents modèles de fours électriques dont il s'est servi et leur emploi à l'étude de la cristallisation des oxydes métalliques (chaux, magnésie, oxyde de titane, oxyde de cuivre), et à celle de la fusion et de la volatilisation d'un certain nombre de corps réfractaires (fer, uranium, silicium, bore, carbone, zircone, silice, etc.). Le suivant est consacré à l'exposé de ses recherches sur les différentes variétés de carbone parmi lesquelles nous rappellerons les belles expériences relatives à la reproduction artificielle du diamant. La préparation au four électrique de quelques corps simples (chrome, manganèse, molybdène, tungstène, uranium, vanadium, zirconium, titane, silicium, aluminium), forme la matière du chapitre III. Dans le dernier, l'auteur aborde l'étude des composés binaires : carbures, siliciures et borures. Enfin dans quelques pages de conclusions M. Moissan résume l'ensemble des résultats qu'il a obtenus et fait ressortir le rôle capital qu'ont dû jouer à l'origine des mondes, alors que la température était extrêmement élevée, les réactions qu'il a pu obtenir dans le four électrique.

Ajoutons que cet ouvrage, écrit avec une clarté que seul pouvait avoir l'auteur même des travaux qui y sont exposés, constitue sans aucun doute l'une des bases des recherches futures sur le four électrique ; sa lecture intéressera donc bon nombre de nos lecteurs.

J. BLONDIN.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

DUQUESNE (*Pensylvanie*). — *Station centrale et transport de force.* — La Carnegie Steel C° vient de faire construire une nouvelle batterie de hauts-fourneaux dans l'importante fonderie qu'elle exploite depuis longtemps déjà à Duquesne (P.). Les installations électriques, auxquelles nous nous intéressons plus particulièrement dans la description qui nous est faite de cette usine par l'*Iron Age*, sont assez importantes sans toutefois jouer un rôle prépondérant dans la partie mécanique ayant trait aux grosses manipulations du minerai et de ses produits. L'usine électrique est, quoique faisant partie du même établissement, complètement indépendante quant à la production de l'énergie électrique. La chambre de chauffe contient 3 chaudières de 500 chevaux alimentant un moteur tandem-compound Buckeye, à condensation, 6 moteurs Westinghouse de 50 chevaux chacun et un autre moteur d'environ 60 chevaux. Le premier de ces moteurs entraîne plusieurs dynamos à courant continu couplées en parallèle et alimentant les moteurs à 220 volts disséminés dans diverses parties de la fonderie où ils sont affectés à la manœuvre des ponts roulants du hall de coulée et des ateliers de réparations, à celle d'une grue dans la salle des pompes, etc. Les six moteurs Westinghouse, sont accouplés directement à un nombre

égal de dynamos pour l'éclairage à arc, chacune alimentant 50 lampes, soit en tout 300, réparties dans les grands halls, les soutes, les cours, etc. L'éclairage général est d'ailleurs complété par 900 lampes à incandescence qu'alimente un alternateur de 45 kilowatts actionné par le huitième moteur à vapeur.

La production journalière de fonte de tous les hauts fourneaux réunis, alors que l'usine sera en pleine marche, atteindra 2 200 tonnes dont 1 600 sont exclusivement destinées aux aciéries que possède la même compagnie à Duquesne.

LONDRES. — *Traction.* — La Compagnie des tramways de Deptford-Greenwich, de Londres, se propose de mettre prochainement à l'essai sur ses lignes une nouvelle voiture à accumulateurs construite pour son compte par la W. C. F. Busch Waggon C°, de Hambourg.

Cette voiture, dit un des représentants de *The Electrician*, est construite selon le type caractéristique des tramways allemands, c'est-à-dire avec un compartiment central pour les places assises et une grande plate-forme à chaque extrémité. Le truck de la voiture est pourvu d'un moteur cuirassé Kummer entrainant l'une des paires de roues par un engrenage à réduction simple.

La batterie d'accumulateurs est formée de 140 éléments RIBBE du poids de 20 kg environ, soit 2 800 kg pour la batterie entière.

Ce type d'accumulateurs est caractérisé par le dispositif retenant la matière active. Le support ou grille qui constitue l'âme, est une mince lame de plomb de 1,7 mm d'épaisseur percée d'une multitude de trous coniques. La matière active recouvre les deux faces et est maintenue en place par un grillage en celluloïd formé de barrettes à section conique dont la base a environ 4 mm de large et appuie directement sur les deux faces de la plaque. Ces barrettes sont placées verticalement et reliées par paires encadrant la plaque en traversant ses bords ; les soudures sont faites à l'acétone. Sur les côtés laissés libres des barrettes est soudée par le même procédé une plaque perforée, en celluloïd également, ayant environ 3 mm d'épaisseur. La disposition est la même pour les plaques positives et les plaques négatives.

Au dire des inventeurs la capacité de cette batterie est de 81 kilowatts-heure, soit environ 288 ampères-heure par élément à la tension de 280 volts. Elle peut fournir de l'énergie au moteur pendant 20 heures consécutives.

Ces données paraissent susciter un certain doute dans l'esprit de notre confrère ; aussi se propose-t-il de suivre avec intérêt les essais qui doivent avoir lieu prochainement avant de se prononcer sur la valeur réelle de cette batterie que la pratique n'a pas encore sanctionnée. Nous ne manquerons pas de tenir nos lecteurs au courant de ces essais aussitôt que nous en serons informés.

SCHENECTADY (*Amérique*). — *Traction.* — Nous lisons dans le *Street Railway Journal* que des essais de traction électrique à grande vitesse viennent d'être effectués sur un tronçon de ligne récemment établi par le General Electric C° entre Schenectady et les bords du lac Erié situé à environ 2 km de la ville.

La ligne est à voie unique avec une rampe de 4 p. 100 au maximum ; les rails sont du poids d'environ 46 kg par mètre courant. La distribution du courant aux moteurs des voitures s'effectue par un troisième rail sur lequel glisse un sabot de contact comme dans le système dit de Nantasket-Beach. Seulement sur cette ligne on a adjoint un quatrième rail monté comme le troisième sur des blocs isolants et isolé de ce dernier dans le but de faire des expériences avec des courants polyphasés. Ces deux conducteurs sont constitués tous deux par des rails de 14 kg par mètre courant. Un seul d'entre eux a été utilisé pour les essais qui nous occupent et qui ont été effectués à l'aide des courants continus.

La voiture motrice faisant l'office de locomotive électrique est d'un type spécial à double truck, chaque truck étant muni d'une paire de moteurs G. E. 2 000. La caisse est divisée en trois sections, l'une à l'avant, réservée aux appareils de manœuvre et de contrôle (tableau de distribution muni de tous les instruments nécessaires aux mesures et accessoires divers) ; l'autre, au milieu, est affectée au service du transport des voyageurs et la troisième, située à l'arrière, aux moteurs et pompes de compression servant au fonctionnement des freins. Le sabot de contact en fonte a, pour ces essais à grande vitesse, reçu quelques modifications dans son mode de suspension. Au lieu d'être maintenu rigidement en contact avec le rail conducteur par l'action d'un ressort, il est simplement suspendu à un piton terminant le câble d'aller du courant aux moteurs par deux maillons qui le remorquent ; son poids suffit à assurer un bon contact, de plus un système de

guides l'empêche de glisser accidentellement hors du rail.

Le poids total de la locomotive ainsi équipée est, sans voyageurs, de 30 tonnes. Sa puissance de traction est de 6795 kg.

Les premiers essais de remorque ont été effectués sur un train composé de trois wagons plats chargés, pour la circonstance, de gueuses de fer de façon à donner un poids mort d'environ 121 tonnes. Les résultats, nous dit-on, ont été des plus satisfaisants sous tous les rapports.

D'autres essais ont été entrepris, aussitôt après, sur un train de voyageurs composé de 4 voitures représentant un poids total de 150 tonnes. Le régulateur de vitesse était manœuvré par l'ingénieur bien connu M. W.-B. Potter, alors que M. S.-H. Libby faisait l'office de surveillant. Plusieurs trajets successifs effectués ainsi à une vitesse de 64 km à l'heure ont donné, paraît-il, des résultats tout aussi encourageants que les premiers.

DIVERS

De l'influence de la franklinisation sur la voix des chanteurs. — Dans la séance du 5 août de l'Académie des sciences, MM. A. Moutier et Granier présentaient une note relatant les expériences qu'ils ont faites sur ce sujet et qui montrent que la franklinisation exerce une action particulière sur la voix chantée.

Lorsqu'on soumet à la franklinisation des chanteurs n'étant atteints ni de lésion de l'appareil vocal, ni même d'affection générale, en les faisant asseoir sur un tabouret isolant, relié au pôle négatif d'une machine électrique statique à grand débit et en leur faisant respirer les effluves que l'on dégage au niveau de leur visage à l'aide d'un balai de chiendent, on observe au bout de peu de temps, souvent dès la première séance, des modifications au point de vue de l'intensité, de la hauteur et du timbre de la voix; la voix devient plus ample, plus claire, plus souple, acquiert un timbre particulièrement agréable, est plus facile et se fatigue moins vite.

Sur l'emploi de l'aluminium pour la conduction de l'énergie électrique. — Il est généralement admis que, à cause de sa grande légèreté, l'aluminium serait avantageusement substitué au cuivre pour les conducteurs aériens si le prix de ce métal venait à s'abaisser suffisamment, et tout récemment, dans une lettre adressée à *The Electrician*, M. Leeds établissait qu'il suffirait que ce prix soit un peu inférieur au double de celui du cuivre pour que la substitution devienne avantageuse. En effet, la conductibilité électrique de l'aluminium commercial étant les 0,50 environ de celle du cuivre il faudra, pour avoir la même perte en ligne, employer un conducteur d'aluminium de section double de celle du conducteur de cuivre équivalent, c'est-à-dire un volume d'aluminium double de celui du cuivre; mais comme d'autre part le poids spécifique de l'aluminium est 2,6 tandis que celui du cuivre est 8,8, il s'ensuit que deux lignes de même résistance coûteront le même prix par unité de longueur si l'on a

$$8,8 \times C = 2 \times 2,6 \times A,$$

C et A étant les prix du kilogramme de cuivre et d'aluminium, on en déduit

$$\frac{A}{C} = \frac{8,8}{5,2} = 1,7;$$

c'est-à-dire qu'il suffirait que le prix de l'aluminium soit, à poids égal, 1,7 fois celui du cuivre pour qu'une ligne en aluminium revienne au même prix que la même ligne en cuivre tout en étant près de deux fois plus légère.

Mais dans ce raisonnement, en apparence inattaquable, il n'est pas tenu compte de la résistance mécanique à la traction qui est loin d'être à négliger dans l'installation d'une ligne aérienne. Or la résistance mécanique de l'aluminium n'est pas plus élevée que celle du cuivre et l'on sait que cette dernière est insuffisante pour la construction de lignes télégraphiques ou téléphoniques en cuivre. Il est vrai que le poids d'une ligne en aluminium étant deux fois moindre la tension serait plus faible, mais comme la section du fil doit être environ deux fois plus grande, l'action du vent deviendrait plus importante. Aussi comme le faisait remarquer M. Charpentier-Page, dans un mémoire relatant ses essais sur divers alliages d'aluminium, n'est-ce pas à l'état de métal pur que l'aluminium pourra trouver des applications en télégraphie et en téléphonie. A la vérité cette objection n'est pas suffisante pour rejeter complètement l'emploi de l'aluminium; car, comme l'ont montré des essais récents, elle peut être tournée par l'emploi de l'alliage aluminium-cuivre à 5 p. 100 de cuivre qui a une résistance méca-

nique égale à celle du bronze phosphoreux et qui permet d'établir des lignes beaucoup plus légères que les lignes en bronze tout en ayant même conductibilité et sensiblement même prix de revient.

Si maintenant, au lieu de considérer un conducteur nu, on examine le cas d'un câble isolé à âme d'aluminium, dont l'emploi a été préconisé comme câble sous-marin en vue d'avoir un câble plus léger et de pose plus commode, le raisonnement précédent se trouve immédiatement en défaut par suite de l'augmentation considérable du prix de l'enveloppe isolante qui doit alors avoir une section plus grande, celle de l'âme ayant été augmentée. Il résulte en effet d'une lettre de M. O'Gorman à *The Electrician* (19 mars) que d'après les tarifs des fabriques de câbles il faudrait que le prix de l'aluminium soit, à poids égal, les deux tiers seulement de celui du cuivre pour que, à résistance électrique égale, un câble à âme d'aluminium revienne au même prix qu'un câble à âme de cuivre. En outre les câbles de ce genre auraient deux graves inconvénients; le premier est que, par suite de l'augmentation de la surface latérale du conducteur, la capacité électrostatique du câble se trouverait notablement augmentée et pourrait le rendre impropre à la télégraphie et la téléphonie; la seconde est que la résistance d'isolement, proportionnelle au logarithme du rapport $\frac{D}{d}$ du diamètre de l'isolant à celui de l'âme, se trouve diminué, ce rapport étant lui-même diminué.

L'usage du microphone dans les postes en Allemagne. — Le *Journal télégraphique de Berne* publie un extrait des statistiques du département des télégraphes et des téléphones pour l'empire germanique dans lequel est retracé l'historique de l'application du microphone depuis son invention jusqu'à l'heure actuelle.

Le premier microphone employé fut celui qu'inventa M. Hugues, en 1877, peu de temps après l'apparition du téléphone; l'appareil se composait alors d'une petite plaque de bois montée sur une boite de résonance et portant deux petites pièces de charbon reliées électriquement l'une à l'autre par l'intermédiaire d'une petite barrette de même matière logée dans leurs évidements. Bien que cette disposition fût loin d'être parfaite son emploi avec le téléphone permit de communiquer à des distances plus considérables. Elle fut d'ailleurs perfectionnée quelque temps après par M. Berliner. Ce perfectionnement consistait à placer derrière le microphone un cornet acoustique, une membrane ou diaphragme métallique en forme de disque que l'on bridait à son bord; au milieu du revers de cette membrane était fixé un disque de charbon, sur lequel reposait par l'effet de son propre poids la tête arrondie d'un marteau de charbon également mobile dans sa charnière. Quand on parlait dans le téléphone les vibrations de ces deux organes amplifiaient les ondes sonores avec beaucoup plus d'intensité que dans le microphone simple.

Le perfectionnement qu'a apporté par la suite M. Blake ne différait du précédent que par la disposition des contacts. Sous l'action d'un ressort une petite pointe de platine se serrait contre le centre de la plaque téléphonique tandis que son autre extrémité s'appuyait sur le disque de charbon fixé à un ressort.

L'administration introduisit dans ses bureaux centraux l'usage de ces deux systèmes de microphones en 1881. Ils étaient encastrés, comme ils le sont encore aujourd'hui, dans la porte de la cage du téléphone où étaient logés les instruments auxiliaires servant en même temps de support aux récepteurs. Le courant du microphone était fourni au début par un élément zinc-charbon, dérivé de la pile de sonnerie. Mais il fut bientôt reconnu insuffisant et on dut employer une pile spéciale pour le microphone. C'est alors que pour ménager le courant de cette pile les crochets de suspension servant d'interrupteurs firent leur apparition.

Le besoin de l'usage des microphones dans les postes d'abonnés urbains se fit ressentir au moment où l'on commença à établir des communications téléphoniques à grande distance. En 1885, on créa trois lignes ayant respectivement 59, 87 et 166 km de longueur par lesquelles les abonnés communiquaient à l'aide de microphones de Berliner et de Blake. Toutefois ces appareils ne purent être utilisés avec autant d'avantages sur la ligne de Berlin-Hanovre, longue de 329 km, qui fut installée en 1886. Outre que leur rendement phonique devenait insuffisant pour une si grande longueur, ils étaient sujets à de fréquents dérangements, rendant parfois des sons discordants et pour la plupart inintelligibles ou bien ne transmettant rien du tout. De plus, par suite de la disposition du réglage, leur remise au point ne pouvait être faite que

par des mains expertes, ce qui devenait onéreux pour les parties intéressées. Un perfectionnement de ces appareils s'imposait donc. M. Berliner en construisit un avec trois marteaux de contact au lieu d'un seul comme dans le précédent, la transmission en fut par suite notablement améliorée. Le perfectionnement que MM. Mix et Genêt apportèrent au microphone d'Ader en 1886 donna encore de meilleurs résultats. On sait que le microphone d'Ader consiste en deux traverses de charbon fixées au revers d'une planchette de sapin et reliées par trois ou plusieurs galets de même substance. L'ensemble occupe généralement la position horizontale à cause de l'extrême sensibilité de déplacement des galets. La disposition adoptée par MM. Mix et Genêt permettait de replacer le microphone dans son ancienne position verticale et dans le but d'empêcher le roulis des galets ils les faisaient arrêter par un ruban de feutre commandé par un ressort et dont la pression pouvait être réglée à l'aide d'une molette filetée. L'appareil ainsi modifié reproduisait les sons avec beaucoup plus de sonorité et leur timbre était plus moelleux et plus pur que celui des autres microphones. Une fois qu'ils étaient bien mis au point ils s'y maintenaient longtemps sans subir aucune variation. Comme ces microphones supportaient un courant assez énergique, on les faisait généralement fonctionner au moyen de deux éléments; ce procédé contribua beaucoup à augmenter l'intelligibilité de la parole, surtout sur les lignes de long parcours et sur les sections encâblées des réseaux urbains. Après de nombreux et minutieux essais, l'Administration se décida, en 1887, à les introduire dans ses bureaux centraux et en pourvut les postes d'abonnés. Quelques perfectionnements enseignés par la pratique furent encore apportés à ce système de microphone. La plaque phonique fut recouverte de vernis pour empêcher que la buée ne la déformât, altérant, par suite, les contacts. On remarqua aussi sur un grand nombre de microphones de ce genre que le centrage parfait des galets avait une notable influence sur le rendement de l'appareil ; l'expérience démontra que la pression exercée par les tourillons sur les porte-charbons devenait alors inégale, ou bien se modifiait par suite de la rotation ralentie des galets. En outre, le ruban amortisseur de feutre perdait de son efficacité dès qu'il avait servi un peu longtemps ; ce n'est qu'après des essais multipliés qu'on se décida à le remplacer par l'amortisseur à ressort proposé en 1888 par le mécanicien-télégraphiste Bodenstab de Metz. Le dispositif comprenait un certain nombre de lames d'acier très minces et droites qui étaient isolées et assujetties à une petite traverse fixée au dos du microphone. L'amortissement était aussi bon qu'avec le ruban de feutre et se conservait longtemps sans altération.

Il est évident que malgré les qualités reconnues du microphone Mix et Genêt, l'Administration n'a pas cessé de suivre attentivement tous les progrès ultérieurement réalisés dans ce domaine. Elle s'est procuré tous les systèmes de microphones inventés dans différents pays et les a soumis aux essais dans un laboratoire spécial et dans le service pratique lorsque les premiers essais avaient donné de bons résultats. Les meilleurs systèmes étaient essayés sur une grande échelle, l'Administration opérant souvent dans ce but avec plus de 100 appareils du même système. On n'en a reconnu que très peu qui aient présenté d'aussi grands avantages, sous tous points de vue, que les microphones à galets. Viennent d'abord les microphones à poudre de charbon qui lors des essais transmettaient des sons très faibles avec une grande netteté, mais reproduisaient également tous les bruits, apportant par suite une série de troubles dans une conversation. De plus, la poudre de charbon avait l'inconvénient de se tasser, offrant ainsi une surface de contact moindre et moins sensible à l'action vibratoire de la plaque. Les microphones à grenaille qui furent essayés après donnèrent de meilleurs résultats. Les effets de tassement étaient atténués dans une assez large mesure, car, il suffisait de tourner un peu le récipient à grenaille pour ramener les contacts. L'un de ces appareils, le microphone à bourse de Siemens et Halske, a permis de réaliser, en l'employant avec le transmetteur « Universel » de Berliner, une bonne transmission de la parole à de grandes distances, bien qu'étant reconnu trop sensible pour les lignes locales.

On expérimente actuellement un nouveau microphone à disque de charbon récemment inventé par M. R. Stock, qui est aussi sonore que celui de Siemens et Halske et a l'avantage de ne pas reproduire les bruits extérieurs. Dans cet appareil, le dos de la plaque phonique, qui est en aluminium, est recouvert d'une mince plaque de charbon sur laquelle reposent les marteaux de dix

disques de charbon disposés mobilement sur deux axes. Le courant passe de l'un à l'autre en traversant le disque.

L'Administration poursuit ses essais dans le but de s'assurer si ces deux derniers microphones répondront bien à tous les besoins sur les longues lignes qu'elle se propose d'établir par exemple de Berlin à Buda-Pesth, Londres et Saint-Pétersbourg, etc. Il est évident qu'on ne pourra obtenir une bonne transmission de la parole sur d'aussi longs parcours qu'avec des microphones d'une extrême perfection.

Les fiacres électriques à New-York. — Notre confrère *The Electrical Engineer* rapporte que l'attention des New-Yorkais a été attirée, ces jours derniers, par l'apparition de nouvelles voitures électriques récemment construites et mises en circulation par la Electric Carriage and Waggon Company. Le dépôt servant aussi de remise à ces voitures est situé au 140 de 39e rue, près de la station Edison fournissant le courant nécessaire à la charge de leurs batteries d'accumulateurs. Les voitures sont construites d'après la forme bien connue des « handsomes-coaches », seulement le siège du cocher au lieu d'être fixé à la capote, repose directement sur la caisse contenant les accumulateurs. Cette caisse est supportée par l'arrière-train de la voiture ; l'avant-train supporte la voiture proprement dite et les moteurs. Ces derniers sont des moteurs Lundell au nombre de deux par voiture, commandant l'essieu d'avant-train par l'intermédiaire d'engrenages réducteurs. Les organes de manœuvre sont placés à la portée du conducteur qui dirige par l'arrière-train. Toutes les roues sont pourvues de pneumatiques. Ces voitures peuvent atteindre une vitesse de 20 km à l'heure, en palier. Une seule charge de la batterie lui permet d'effectuer un parcours de plus de 40 km.

On prétend qu'avec des stations de charge bien outillées et convenablement réparties, le service journalier effectué par ces voitures ne coûterait que 2,50 fr en fournissant le même travail qu'une voiture attelée d'un cheval, laquelle revient en moyenne à 5 fr par jour. La batterie employée dans les premières, ayant une capacité de 8 chevaux-heure et étant supposée chargée dans une station spéciale ne coûterait que 0,80 fr par charge soit 0,10 fr le cheval-heure ; au tarif des stations centrales, il revient à 0,40 fr.

Classification des galvanomètres. — Le nombre des galvanomètres est aujourd'hui si considérable qu'une classification méthodique de ces instruments rendrait quelque service en permettant d'indiquer brièvement par un symbole rappelant les divisions et subdivisions de la classification où se range un galvanomètre particulier, les principales particularités de ce galvanomètre,

Le professeur G.-F Fitzgerald propose, d'après *The Electrician* du 26 mars, la division des galvanomètres en trois grandes classes suivant que le courant agit sur : (*a*) un aimant, (*b*) un morceau de fer doux, (*c*) un courant.

Chacune de ces classes se divise suivant que le mouvement de la partie mobile est : (A) un mouvement de rotation ou (B) un mouvement de translation. Cette distinction est importante, car tandis que dans le premier groupe le champ magnétique peut être uniforme (et c'est ce qu'on cherche à obtenir en pratique), le mouvement de rotation pouvant être produit par un couple, il faut nécessairement que dans le second groupe le champ soit non uniforme afin de permettre à la partie mobile de se mouvoir d'une région où le champ est intense à une autre où il est plus faible,

Les deux classes (*a*) et (*b*) doivent aussi être divisées en deux autres groupes suivant que le courant est (α) fixe, ou (β) mobile ; dans ce dernier groupe se rangent les instruments du type siphon-recorder. Dans la classe (*c*) il faut nécessairement qu'il y ait un circuit mobile et un circuit fixe.

On a donc ainsi formé 10 groupes de galvanomètres. Si l'on considère la nature de la force qui s'oppose au déplacement du système sous l'action magnétique, chacun d'eux se divise en quatre autres suivant que cette force est : (I) magnétique, (II) élastique, (III) due à la pesanteur, (IV) due à l'inertie.

En adoptant cette classification une boussole des tangentes se trouverait indiquée par le symbole (*a*, A, α, I); une balance de Lord Kelvin par (*c*, B, III).

Dans une lettre que publie *The Electrician* du 2 avril, M. Albert Campbell propose une classification plus complète comprenant quatre grandes classes, suivant que l'action du courant à évaluer est (I) dynamique, (II) thermique, (III) chimique, (IV) optique.

La classe (I) se divise en deux autres suivant que la force agissante est : (E) électrostatique ou (M) électromagnétique.

Si l'on considère la réaction, les divisions qui en découlent sont celles qu'adopte M. Fitzgerald en y ajoutant toutefois un cinquième groupe pour les appareils où il n'y a pas de force de réaction comme dans l'ohmmètre Evershed, par exemple.

La classe M se subdivise en trois groupes, suivant que l'instrument est : (*a*) sans noyau de fer doux et sans aimants, (*b*) avec noyau de fer doux, (*c*) avec aimants permanents.

La classe II comprend le groupe (1) des appareils où l'on observe une variation de température due à l'effet Joule ou l'effet Peltier (par exemple mesurer des courants par une résistance et un calorimètre) et le groupe (2) où l'on observe une variation de longueur ou de volume; ce dernier groupe est lui-même divisé en deux autres: suivant que le corps qui se dilate est solide (voltmètre Cardew), ou fluide (ampèremètre à tube chaud Campbell).

La classe III comprend également deux groupes: (*m*) les voltamètres à pesées et (*v*) les voltamètres volumétriques.

Enfin la classe IV comprend les appareils basés sur des phénomènes tels que la rotation du plan de polarisation de la lumière,

Toutefois, comme le fait remarquer M. Campbell lui-même, cette classification laisse encore en dehors certains appareils comme ceux où l'on mesure une distance explosive ou les variations de la constante capillaire.

Action des courants de haute fréquence sur la virulence du streptocoque. — M. Louis Dubois communiquait, à la séance de l'Académie des sciences du 5 avril, une note confirmant les expériences de MM. d'Arsonval et Charrin (voir *L'Eclairage Electrique*, t. VIII, p. 83, 11 juillet 1896, t. IX, note de la p. 416, 28 novembre 1896, t. XI, p. 177, 17 avril 1897), sur l'atténuation de la virulence des microbes.

Un lapin inoculé à l'oreille avec une culture de streptocoque succombe en 32 heures; après deux séances de 20 minutes d'électrisation en 24 heures, la même culture produit encore la mort de l'animal inoculé du jour au lendemain; après quatre séances d'électrisation de la culture, l'animal inoculé n'est pas mort cinq jours plus tard; après huit séances, l'animal inoculé par cette culture se rétablit complètement bien que la quantité inoculée soit beaucoup plus grande.

Pour soumettre les cultures au courant de haute fréquence, l'auteur procède comme il suit : la culture en sérum liquide est contenue dans un petit sac en parchemin, dont les coutures sont soudées à la paraffine. Ce petit sac, de 6 à 7 cm de longueur sur 1 cm de large, est suspendu, par un fil de soie fixé à chaque extrémité, dans un tube en forme d'U très ouvert et complètement rempli de sérum liquide. Chaque extrémité de ce tube était fermée par une rondelle de charbon de cornue lutée à la paraffine; à ces deux disques de charbon étaient fixés les fils conducteurs. Pendant le passage du courant, le tout était plongé dans un bac rempli d'eau à la température de 20° et maintenu à cette température. La bobine employée donnait 25 cm d'étincelles avec le trembleur d'Arsonval-Gaiffe; le dispositif employé est celui de MM. d'Arsonval et Charrin.

L'action des rayons X sur l'épiderme. — Dans une note présentée à l'Académie des sciences, le 12 avril dernier, M. Sorel signale deux accidents assez graves dus à l'emploi des rayons X.

Le premier a été observé sur une jeune fille de 16 ans, soumise, le 29 septembre 1896, à l'action d'un tube Colardeau actionné par une bobine donnant environ 10 cm d'étincelles; le tube était placé dans la région épigastrique, à environ 1 cm de l'épiderme dont il était séparé par une feuille mince de celluloïd; la pose dura trois quarts d'heure par intermittences, ce qui équivaut à une pose réelle d'environ 20 minutes; le résultat radiographique fut négatf. Six jours après, une tache rouge de 6 cm de diamètre avec centre blanc de 2 cm s'est manifestée au point de l'épiderme qui se trouvait en regard du tube; il y avait au toucher une légère douleur qui devint plus aiguë; 8 jours plus tard, commença une suppuration qui dura un mois; depuis la fin de novembre, les douleurs sont devenues insupportables. Pendant la période de suppuration, du 12 octobre au 12 novembre, une plaie de même nature, très douloureuse, survint à la jambe; elle se cicatrisa au bout d'un mois. M. Sorel fait observer que le sujet en question est essentiellement nerveux et attribue à cette nervosité la gravité des accidents, car dans bien d'autres cas, avec des poses quatre ou cinq fois plus longues, répétées plusieurs fois, à 24 heures d'intervalle, il n'a pas eu d'accident semblable à constater.

Le second a été observé sur une fillette de 9 ans à la suite d'une radiographie du bassin et du fémur;

une tache rouge s'est formée sur la cuisse, l'épiderme s'est soulevé et est tombé, mais il n'y a eu ni escarre, ni douleur bien que le même tube Colardeau actionné avec une bobine de 20 cm d'étincelles ait été en action pendant une pose réelle de 1 heure environ et ait donné une très bonne épreuve de la partie étudiée.

A propos de cette note M. Lannelongue, après avoir fait observer qu'il ne croit pas que l'abcès qui s'est produit sur la jambe du premier sujet ait quelque relation avec l'abcès principal, rappelle un accident présentant quelque analogie avec ceux que produisent les rayons X et dû aux rayons solaires : « Ces effets particuliers des rayons X, dit-il, sont comparables à ceux que j'ai observés, il y a plus de 20 ans, sur des sujets soumis aux rayons chimiques de la chaleur solaire. Cela se passait à l'hôpital Trousseau. On avait fait sortir, en plein mois de juillet et par une journée chaude, une vingtaine d'enfants et on les avait laissés dans leur lit, au dehors pendant plusieurs heures. Ils étaient dans une cour sablée où le soleil ne donnait pas dans l'après-midi et ne donna pas sur les enfants, la chose fut établie positivement. Néanmoins, la plupart d'entre eux eurent consécutivement des accidents de brûlures graves : érythèmes, suppurations cutanées, suivies d'érysipèle qui amenèrent la mort de deux d'entre eux. Une certaine émotion se produisit dans l'hôpital à la suite de laquelle, sur l'avis que me donna l'illustre physicien Foucault, il fut essayé l'action des verres de strontiane sur d'autres sujets, qu'on exposa à la même lumière de la même cour en même temps que d'autres enfants, dont les mains étaient libres et non recouvertes de plaques de verre. Les sujets dont les mains avaient été protégées par les verres n'eurent aucun accident, tandis que ceux dont les mains étaient découvertes furent brûlés comme les premiers, et incontestablement par les rayons chimiques de la lumière solaire. »

Un curieux incendie causé par l'électricité. — Le *American national Board of Fire Underwriters* rapporte un assez curieux commencement d'incendie dans une maison n'ayant aucun conducteur appartenant à une distribution d'énergie électrique. Vers 10 heures du soir, dit le rapport, une fumée paraissant sortir du 1er étage fit donner l'alarme. Les pompiers arrivant aussitôt s'aperçurent que le feu avait pris naissance dans les lambourdes du parquet. Il fut rapidement éteint. Les causes qui l'avaient provoqué étant inexplicables, on fit enlever quelques lames de parquet et ces recherches aboutirent à la constatation d'un autre commencement d'incendie dans une lambourde que traversait à cet endroit une conduite de gaz inutilisée. On soupçonna immédiatement l'électricité d'être l'auteur de ces méfaits, mais le propriétaire de l'immeuble assura qu'aucun câble conducteur de courant ne pénétrait dans sa maison. On désespérait de trouver la véritable cause de ces deux commencements d'incendie lorsqu'on aperçut une autre fumée paraissant sortir d'une salle de bains voisine ; un troisième incendie s'était en effet déclaré dans le parquet de cette pièce et fut immédiatement éteint mais sans fournir d'indication sur son origine. On songea alors à visiter minutieusement le parquet du rez-de-chaussée ; cette fois on eut l'explication du mystère en découvrant un quatrième incendie dans le voisinage d'une conduite de gaz qui était portée au rouge et demeurait ainsi après l'extinction des matières enflammées. Nul doute, l'électricité était bien l'incendiaire, mais par quels moyens ? Un ingénieur de la station Edison fut appelé et reconnut qu'une dérivation, provenant sans doute d'un défaut d'isolement des feeders qui longent la rue en face l'immeuble, s'était établie par les canalisations d'eau et de gaz. Les recherches qui suivirent amenèrent la découverte d'un contact d'un des feeders avec l'enveloppe métallique qui les contient. Comme à cet endroit cette enveloppe repose sur une conduite amenant le gaz dans l'immeuble en question, le courant suivait donc cette voie pour parcourir les tuyaux de gaz de la maison et revenir par les conduites d'eau. Les incendies étaient dus à l'échauffement des parties offrant le plus de résistance au passage du courant. Des mesures ont naturellement été prises pour en éviter le renouvellement ; les deux conduites sont maintenant soigneusement isolées l'une de l'autre, mais c'est par là qu'il eût été préférable de commencer.

Soixante années de télégraphie sous-marine. — Dans un long discours prononcé à l'Imperial Institute, M. le professeur W.-E. Ayrton a fait l'historique de la télégraphie sous-marine depuis 1837, époque à laquelle Crookes et Wheatstone, après avoir établi leur première ligne aérienne entre Euston Square et Cambden Town, songèrent à recouvrir les fils d'un enduit isolant afin de pou-

voir transmettre les dépêches à travers l'eau. Toutefois leurs essais ne donnèrent pas des résultats probants et c'est Morse, en 1842, qui réalisa le premier câble isolé, fabriqué de ses propres mains, à l'aide duquel il transmit quelques télégrammes à travers l'eau séparant Castle Garden et Governor's Island. Ce premier câble avait environ 3,5 km de longueur et était isolé par du caoutchouc en lanière enroulé en spirale autour du fil fraîchement recouvert d'une couche de goudron bitumeux. Malgré le succès de cette première expérience on ne pouvait songer à construire de longs câbles devant relier entre eux les divers continents. L'apparition en Europe de la gutta-percha ranima l'espoir des pionniers de la télégraphie sous-marine. Cette substance coûtait fort cher et était assez rare à cette époque ; le savant Sir William Siemens, alors fort jeune, se rappelait l'avoir vue exposée comme curiosité à la Society of Arts. La propriété qu'on lui reconnut de s'opposer au passage du courant, la fit adopter en remplacement du caoutchouc dans la confection des câbles isolés par MM. Siemens et Halske en 1847. L'année suivante, plusieurs de ces câbles furent posés dans le port de Kiel. Armstrong que ce moyen de communication avait enthousiasmé posa un câble semblable dans l'Hudson.

Parmi les ingénieurs auxquels on est redevable des premiers essais de communication au point de vue commercial, l'orateur cite Jacob Brett, l'inventeur d'un télégraphe imprimant, et son frère John. En 1849, après une série d'essais exécutés sur terre, ils obtinrent de Napoléon Bonaparte la permission de poser le câble sous-marin de Douvres à Calais avec une concession de 10 années. On connait l'histoire de ce premier câble : après quelques télégrammes échangés, il devint défectueux et les tentatives faites dans le but de le relever demeurèrent infructueuses car, de crainte que le câble ne fût entraîné ou ne vînt flotter, on l'avait lesté avec des saumons de plomb distancés tous les 100 mètres. Il fut détruit quelque temps après par le chalut d'un pêcheur de Boulogne. Ce câble fut rétabli l'année suivante en vertu d'une seconde concession accordée par le gouvernement français à MM. Brett, mais cette fois il était revêtu d'une armature protectrice, cette idée ayant été suggérée par un ingénieur des mines M. Küper. La première Submarine Telegraph Company fut alors fondée mais avec un assez maigre capital, le public n'accordant qu'une médiocre confiance dans le succès de la télégraphie sous-marine. Enfin grâce au secours pécuniaire qu'elle reçut de M. Crampton, la Compagnie établissait quelques câbles reliant l'Angleterre à l'Irlande quoique le gouvernement anglais lui eût refusé tout monopole. Le premier des câbles, posé entre Holghead et Howth devint défectueux et fut mis hors de service en 1851. Deux années plus tard le second, reliant Port-Patrick à Donaghadec, était entraîné par le courant. Le seul câble qui résista est celui qui fut installé par M. C. Bright, l'ingénieur bien connu de la Magnetic Company.

Depuis cette époque de nombreux câbles ont été posés dans toutes les mers du monde. Le nouveau continent fut relié, non sans peine, à la vieille Europe. C'est à l'Américain Cyrus Field et à d'autres ingénieurs anglais que l'on doit d'avoir pu communiquer avec l'Amérique dès 1858.

L'orateur relate les nombreux essais effectués sur les diverses parties de ce câble avant son embarquement et les accidents survenus pendant sa pose à travers l'océan par la frégate américaine *Niagara* et le steamer anglais *Agamemnon*. Après de nombreuses ruptures et des pertes considérables de câble, les deux extrémités étaient enfin mises à terre et le 5 août 1858, la reine d'Angleterre envoyait un premier télégramme de bienvenue au Président des Etats-Unis, lequel répondit aussitôt par un autre composé de 150 mots. Le galvanomètre de Kelvin employé comme récepteur à cette époque ne permettait pas de transmettre très rapidement et le dernier télégramme exigea pour le moins une trentaine d'heures de fonctionnement ininterrompu. Au bout d'un mois seulement de service de ce câble aucun échange de dépêches n'était plus possible entre les deux continents.

Après avoir expliqué comment les communications avaient été rétablies entre l'Europe et l'Amérique à l'aide du câble posé par le *Great-Eastern*, le fameux paquebot géant, M. Ayrton parle de ceux établis pendant l'époque plus récente et donne l'explication du fonctionnement de divers recorders, en particulier celui bien connu de lord Kelvin. Ces descriptions sont accompagnées de projections des courbes tracées par l'instrument. Des expériences de transmission faites sur un câble transatlantique artificiel terminent cette intéressante conférence.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XI. Samedi 1er Mai 1897. 4e Année. — N° 19.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

L'EXPOSITION DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

La Société de physique nous conviait, vendredi et samedi derniers, à son Exposition dont le but principal est de metttre sous les yeux de ses membres de province les appareils présentés dans les communications de l'année précédente et de répéter devant eux les principales expériences qui ont pu être exécutées en séance. Les expériences qui, exigeant un matériel trop compliqué ou des conditions trop particulières, ont été seulement décrites sans être exécutées, sont aussi souvent renvoyées à cette exposition où la Société s'efforce de mettre à la disposition de ses membres les moyens d'action les plus étendus. Les constructeurs sont également priés de présenter leurs appareils nouveaux et nous verrons plus loin que cette partie de l'Exposition était loin de manquer d'intérêt. Le succès de ces séances était encore accru cette année par une heureuse décision du Conseil, qui avait reculé de quelques jours la date de l'Exposition et l'avait reportée à la fin de la semaine de Pâques ; grâce à ce choix, les personnes qui s'étaient absentées pendant les vacances pouvaient être rentrées en plus grand nombre et les professeurs de province qui font le voyage de Paris pour assister aux séances annuelles pouvaient disposer plus librement de l'emploi du temps de leurs congés.

L'éclairage de la porte d'entrée et du vestibule avait été confié à la *Compagnie d'Éclairage Denayrouze*, dont le brûleur à incandescence marque une des étapes les plus intéressantes du progrès de l'éclairage au gaz dans sa lutte avec l'électricité. Après plusieurs modifications qui l'ont transformé de fond en comble, le brûleur Denayrouze, qui comportait autrefois un petit moteur, est devenu un Bunsen perfectionné, dont le tube, un peu long, est facile à dissimuler. Le manchon, du type Auer, est laissé à l'air libre ; un bec peut donner, d'après les résultats publiés, 150 ou 200 bougies, avec une dépense allant de 13 à 15 litres de gaz par carcel-heure.

L'éclairage intérieur, confié à la *Société anonyme Cance*, était réalisé par des lampes à incandescence et des arcs d'intensités diverses ; la société Cance exposait également une lampe à projections et des rhéostats à hélice.

L'éclairage était encore représenté par une lampe à incandescence de 500 bougies, construite par la *Compagnie générale des lampes à incandescence*, qui, le jeudi, avait gracieusement offert la visite de ses ateliers aux membres de la Société. Les nécessités de la

discrétion industrielle n'avaient malheureusement pas permis de nous initier à la préparation du filament, qui s'obtient à l'aide d'une dissolution de cellulose. Nous avons remarqué les essais de substitution du nickel au fer pour le support du filament et le photométrage très soigné, où on détermine successivement, pour chaque lampe, le voltage et le courant nécessaires pour obtenir l'intensité voulue.

La maison *Iloyne-Berline* avait envoyé des types de lampes variés et des coupe-circuits unipolaires et bipolaires de 20 à 1200 ampères.

La *lampe Bardon*, à point lumineux fixe, se distingue par l'absence de tout mécanisme ; les seuls mouvements sont des glissements de cordes sur des poulies ; les figures 1 et 2 montrent les détails, très simples, de la construction de cette lampe ; la lampe série ordinaire, dont la figure 3 représente l'élévation, se construit en plusieurs types, 2-6 ampères, 3-15 ampères, 6-15 ampères ; la lampe série spéciale, très robuste (fig. 4), se construit pour marche en dérivation ou en série par grand nombre.

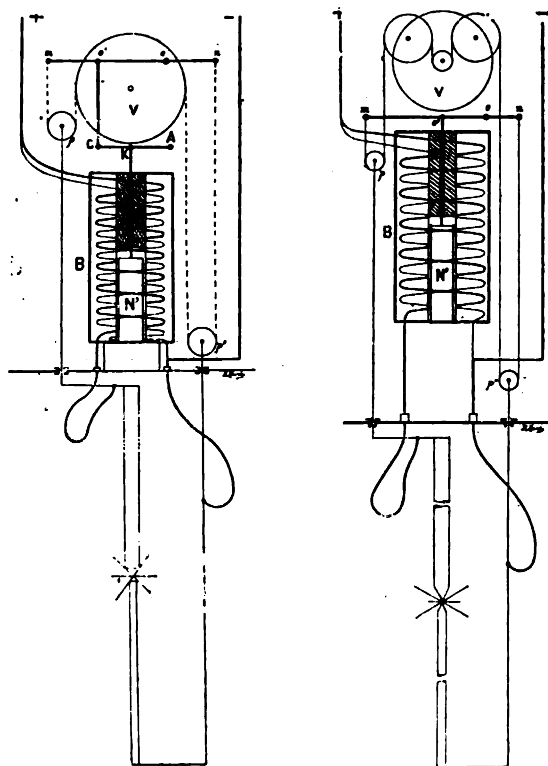


Fig. 1 et 2. — Schéma des lampes Bardon.

L'acétylène, malgré les malheurs retentissants qui ont singulièrement refroidi l'enthousiasme qu'il a inspiré à ses débuts, présente encore de l'intérêt. Nos lecteurs connaissent déjà la *lampe à acétylène de M. E. Gossart* (1) dans laquelle l'eau arrive sur le carbure de calcium en quantité strictement limitée et le gaz se dessèche complètement avant la

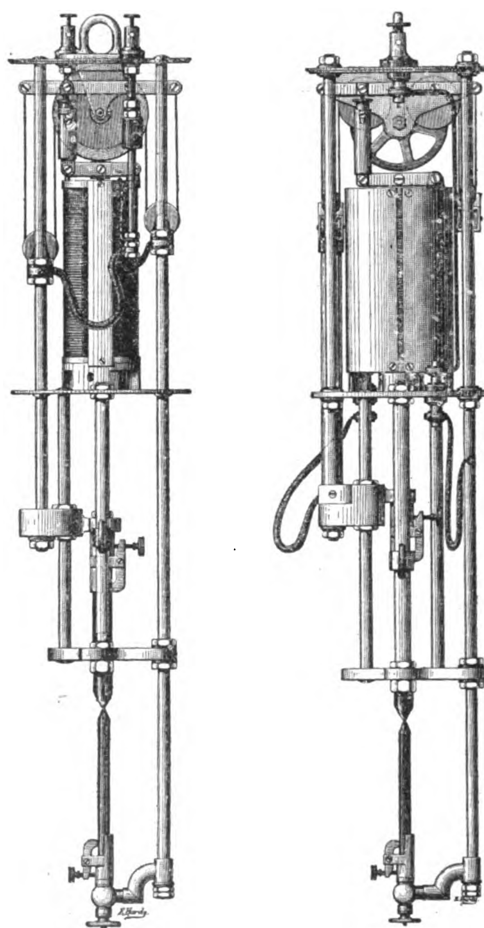


Fig. 3 et 4. — Lampes Bardon, série ordinaire et série spéciale.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 231, 31 octobre 1896.

combustion. Le bec, du type Manchester, est particulièrement curieux : les deux jets de gaz, qui sortent de deux ajutages perpendiculaires, distants d'un centimètre et demi ou

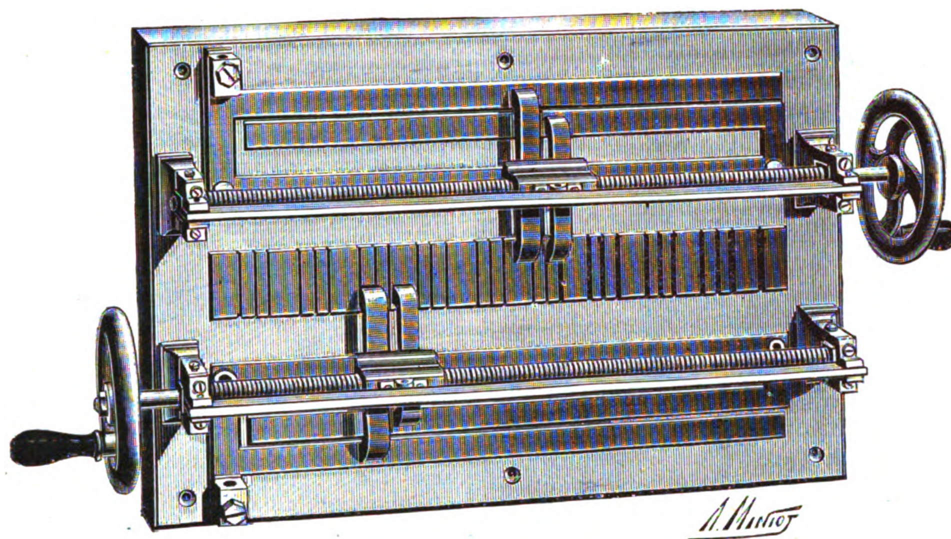


Fig. 5. — Réducteur pour la charge et la décharge des accumulateurs de la Compagnie française d'appareillage électrique

deux, donnent, en se rencontrant, naissance à une flamme papillon dont la partie chaude se trouve ainsi très éloignée de la conduite ; on peut constater avec le doigt qu'il ne se produit pas d'échauffement sensible jusqu'au voisinage immédiat des orifices de sortie.

Nous avons déjà décrit *le récipient de sûreté* de *M. Fournier* (¹) ainsi que les *appareils de M. Lequeux* (²) et de *MM. Létang et Serpollet* (³), pour la production de l'acétylène ; ces derniers constructeurs nous présentent la lampe portative Richard-Choubersky ; M. Trouvé nous montre, entre autres, la lampe à acétylène des chemins de fer, munie d'une cage grillée.

La *Compagnie française d'appareillage électrique* (anciens établissements Grivolas, Sage et Grillet) nous présente un grand tableau de distribution dans lequel nous remarquons particulièrement un réducteur de charge pour accumulateurs, qui évite la mise en court-circuit au moment du passage d'un accumulateur à l'autre (fig. 5); sur le dessin on voit des

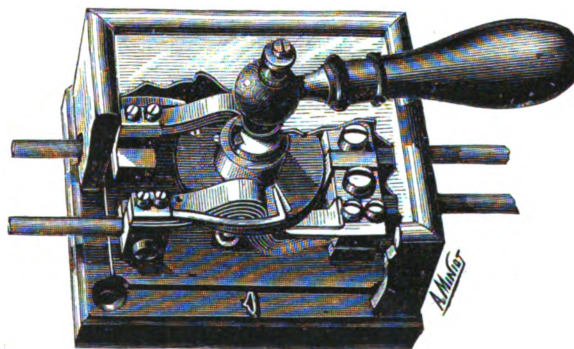


Fig. 6. — Interrupteur bi-polaire avec couvercle à glace, rupture brusque, quatre contacts, 30, 60, 100, 200 et 400 ampères.

touches larges qui servent seules au passage du courant; la résistance évitant le court-circuit est constituée ici par les grosses barres que l'on voit en haut et en bas du tableau.

La même maison expose des interrupteurs bi-polaires pour courants allant de 30 à 400 ampères (fig. 6), un interrupteur (fig. 7)

(¹) *L'Éclairage Électrique*, supplément du 20 mars.

(²) *Idem*, t. IX, p. 256, 7 novembre 1896. — *L'Éclairage à l'acétylène*, par G. Pellissier, p. 132 et 141.

(³) *Idem*, t. IX, p. 255, 7 novembre 1896. — *L'Eclairage Électrique*, p. 134.

et un coupe-circuit (fig. 8) pour courant de

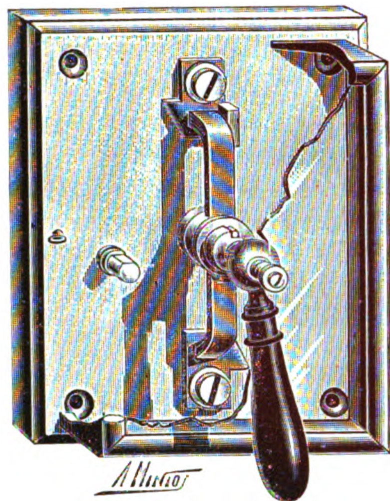


Fig. 7. — Interrupteur pour courant de 500 volts.

500 volts, un coupe-circuit de 1 500 volts

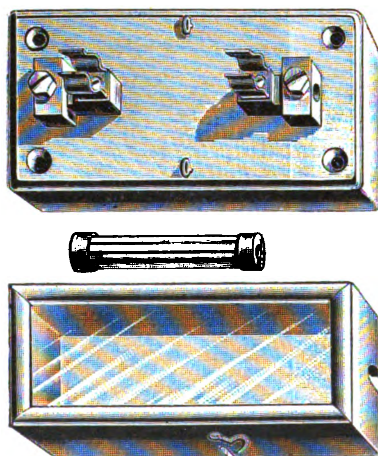


Fig. 8. — Coupe-circuit pour courant de 500 volts à tube de verre interchangeable.

(fig. 9) et pour 2 000 ou 3 000 volts (la figure 10 représente l'appareil monté; on voit les pièces sur les figures 11 à 13). L'interrupteur automatique de courant porte une came mue par un mouvement d'horlogerie qui coupe le circuit à l'heure voulue (fig. 14); dans le régulateur

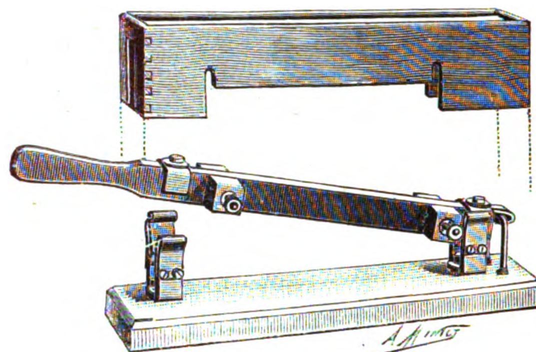


Fig. 9. — Coupe-circuit simple, barrette mobile à crochet portant un couvercle à glace, 30 ampères pour courants haute tension.

automatique de consommation (fig. 15), un effort s'oppose à l'action d'un électro tant que le courant ne dépasse pas une valeur qu'on peut fixer d'avance; si l'on cherche à allumer un plus grand nombre de lampes l'action de l'électro rompt le courant, qui se rétablit de lui-même et ainsi de suite, de sorte que la lumière vacille continuellement. Dans l'allumeur-extincteur automatique à durée temporaire et variable (fig. 16) l'action d'un relais, qui allume une lampe, bande en même temps un ressort. qui met en mouvement une roue, laquelle au bout d'un temps donné, par le jeu d'une came, coupe le circuit.

Les rayons X, qui n'excitent plus le vif intérêt de curiosité qu'on remarquait l'année dernière, ont cependant fait de grands progrès depuis la dernière exposition. MM. *Chabaud*, *Radiguet*, *Ducretet*, ont installé des chambres obscures. Les écrans fluorescents de grande dimension permettent d'apercevoir

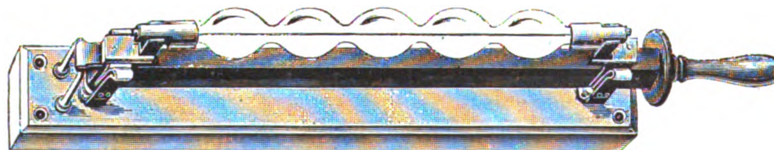


Fig. 10. — Coupe-circuit de haute tension de 2 000 à 3 000 volts.

très nettement les côtes et les mouvements de la cage thoracique d'un adulte pendant la

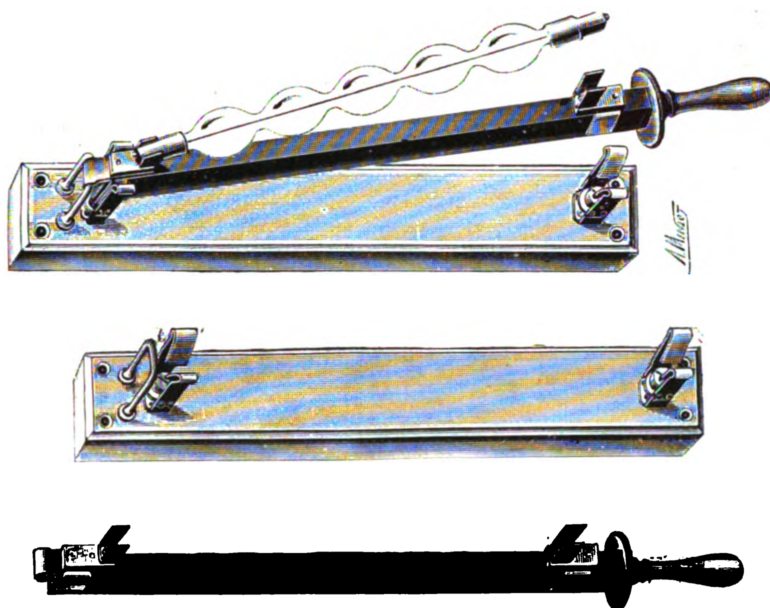


Fig. 11, 12 et 13. — Pièces du coupe-circuit de haute tension.

respiration, ainsi que le battement du cœur; M. Chabaud emploie des écrans au tungstate

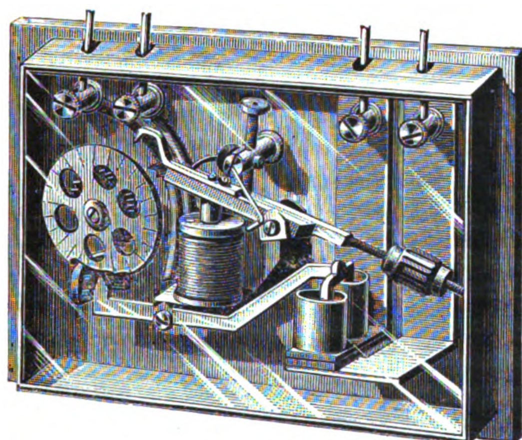


Fig. 14. — Interrupteur automatique de courant pour allumage et extinction, manœuvrable à distance.

de chaux; M. Radiguet emploie des verres dépolis [1].

L'interrupteur joue un rôle essentiel dans la production des rayons X; nous trouvons plusieurs modèles d'interrupteurs pour bobines de grand modèle, actionnés par des moteurs spéciaux, celui de M. Contremoulins, construit par M. Gaiffe qu'on actionne à l'aide de deux accumulateurs; celui de M. Londe [1] et l'interrupteur Ducretet.

M. *Contremoulins*, pour déterminer, par exemple, la position d'une balle dans un crâne, prend successivement deux radiographies à l'aide de deux tubes, sur des plaques portant des traits de repère superposables et trace ensuite une épure. Il peut construire un appareil, composé de quatre tiges fixées sur une lame de métal, dont les extrémités représentent les positions relatives de trois points de repère pris sur la face et du centre de la balle

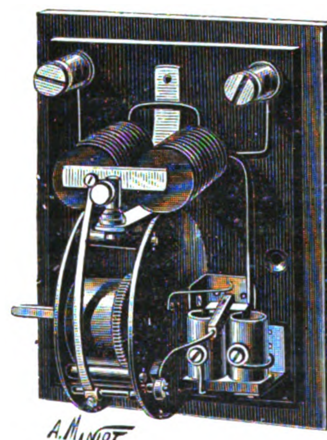


Fig. 15. — Régulateur automatique de consommation de courant, 5 et 10 ampères.

à extraire, qui permet au chirurgien de diriger en toute sécurité son opération.

MM. *Marie* et *Ribaut* ont obtenu des radiographies doubles de diverses pièces anato-

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 277 et 418, 6 et 22 février 1897.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 336, 13 février 1897.

miques, crâne, pied, etc., qui, regardées au stéréoscope Caze, prennent un relief saisissant. Citons aussi deux radiographies de mains envoyées par M. *Hurmuzescu;* sur l'une, qui est à très courte pose et à long développement, on aperçoit le périoste, manifesté par une bordure noire le long du contour de l'os; sur l'autre on distingue, superposés aux os, des fragments du système vasculaire.

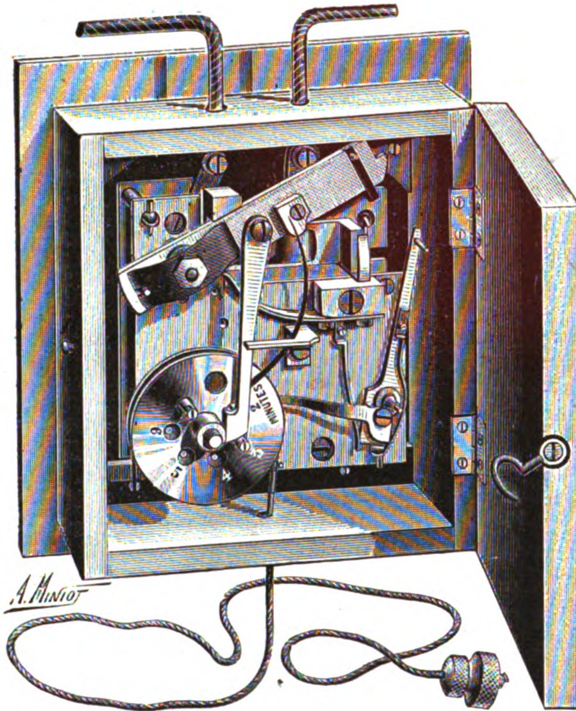


Fig. 16. — Allumeur-extincteur automatique à durée temporaire et variable.

M. *Chabaud*, qui expose les tubes *Colardeau* et *Colardeau-Chabaud* (1), déjà connus, présente un nouvel appareil dans lequel l'emploi de la lame de palladium destinée à absorber d'hydrogène est complété par celui d'une lame de métal qui, quand elle sert d'anode, dégage le même gaz, de sorte qu'un même tube peut être régénéré indéfiniment.

Le photomètre pour rayons X de MM. *Imbert* et *Bertin-Sans*, construit par M. Ducretet, contient un prisme d'aluminium, que traversent les rayons avant d'atteindre un écran fluorescent; l'intensité des rayons s'évalue d'après l'épaisseur maxima du prisme à travers laquelle ils peuvent venir impressionner la matière fluorescente.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 176 et 600, t. VIII, p. 112 ; 24 avril, 27 juin et 18 juillet 1896.

Au point de vue théorique, rappelons que M. Sagnac (1) répétait les intéressantes expériences qui ont expliqué d'une façon si simple les apparences de diffraction signalées par plusieurs auteurs. M. Gouy (2) avait exposé les clichés originaux de l'étude desquels il a déduit que l'indice de réfraction de divers corps pour les rayons X ne différait de l'unité que d'une quantité inférieure à 10^{-6} et que la longueur d'onde, si elle existait, était certainement 100 fois plus petite que celle des vibrations lumineuses.

Parmi les appareils de mesure, on a particulièrement remarqué *l'oscillographe* que *M. Abraham* a récemment décrit ici même (3) et qui fonctionnait de façon à montrer les courbes de courant du secteur de la rive gauche, et du même courant lancé dans une lampe à arc ou dans une bobine de self-induction. Nous avons vu fonctionner *l'oscillographe double de M. Blondel* combiné de façon à présenter simultanément les courbes d'intensité et de force électromotrice, afin de permettre de mesurer la différence de phase.

Le *galvanomètre absolument astatique* (4) *de M. Broca* et *l'électroscope à trois feuilles d'or de M. Benoist* (5) sont déjà connus ; nous avons remarqué un *ampèremètre* et un *voltmètre enregistreur Roché*, exposés par la Compagnie continentale Edison, le *milliampèremètre à courants alternatifs de M. d'Arsonval*, construit par M. Gaiffe, et de *M. Jacquemier*, un *électrodynamomètre à poids* dans lequel

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 408, 28 novembre 1896; voir aussi, MAURITIUS, t. XI, p. 41, 27 mars 1897.

(2) *Idem*, t. VII, p. 567 ; t. VIII, 131, 20 juin, et 18 juillet 1896.

(3) *Idem*, t. XI, p. 145, 17 avril 1897.

(4) *Idem*, t. VIII, p. 226, 1er avril 1896.

(5) *Idem*, t. VIII, p. 231, t. IX, p. 415, 1er août et 28 novembre 1896.

les déplacements angulaires d'une aiguille sont rendus, par un système de leviers, sensiblement proportionnelles à la force qui les cause ; la bonne construction de cet appareil est attestée par la valeur qu'atteint l'amortissement de ses oscillations, en degré du nombre d'articulations qu'il comporte.

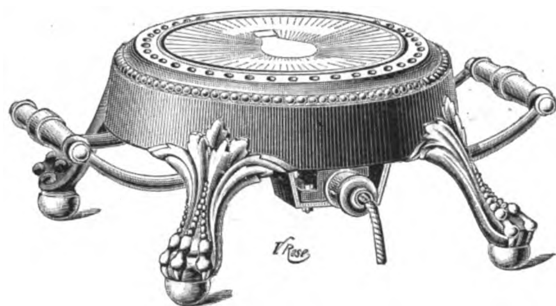


Fig. 17. — Réchaud électrique.

M. Arnoux a réalisé, dans la construction des *appareils enregistreurs*, des perfectionnements qui nous semblent avoir de l'importance. Quand le ressort est remonté, toutes les pièces se commandent successivement de façon que le cylindre ne présente aucun jeu ; il n'y a pas de temps perdu au départ. La bande de papier qui reçoit l'inscription est gommée sur l'un de ses bords, que l'on colle à l'autre ; le cylindre est fendu ; on peut

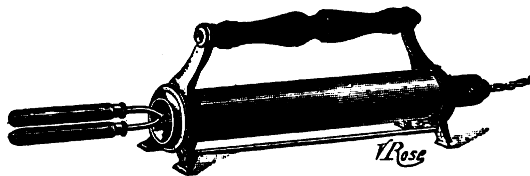


Fig. 18. — Chauffefers à friser.

diminuer son pourtour en pressant sur l'un des bords de la fente, ce qui permet d'introduire le papier lequel se trouve tendu naturellement dès que le cylindre a repris sa forme.

Ces appareils portent un régulateur à disque d'aluminium tournant entre les pôles d'un électro-aimant mobile, qui permet d'obtenir des vitesses très variées avec un même ressort ; M. Arnoux construit également un appareil compensateur dans lequel, à mesure que le ressort se détend, l'action de l'aimant sur le disque se réduit progressivement :

M. Jules Richard exposait, outre ses nombreux appareils enregistreurs, divers instru-



Fig. 19. — Réchaud pour bouilloires.

ments sur lesquels nous aurons occasion de revenir.

Nous terminerons le chapitre des instruments de mesure en mentionnant l'électro-

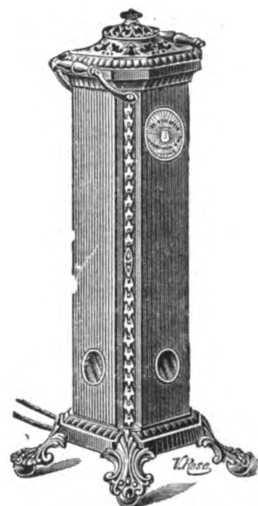


Fig. 20. — Calorifère électrique.

mètre absolu de MM. Pérot et Fabry [1], un perméamètre à arrachement, de M. Carpentier, dans lequel la force est exercée par un ressort. M. Curie nous présentait son quartz piézo-électrique, avec le condensateur à lames de verres argentées qui n'avait pas encore

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 278, 6 février 1897.

paru en public, et MM. Blondel et Broca leur photomètre universel (¹).

Un appareil qui facilitera de hautes recherches scientifiques est la lampe à cadmium de M. Maurice Hamy (²), simple tube étranglé dans sa partie moyenne, à l'intérieur duquel

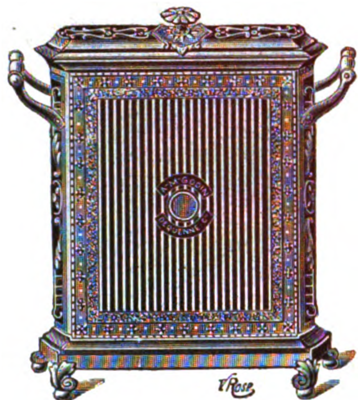


Fig. 21. — Radiateur de salon avec foyer simulé.

on induit des décharges au moyen de bagues de métal qui entourent les parties larges auxquelles elles adhèrent par l'intermédiaire de couches de plombagine ; M. Chabaud nous montre un tube qui a fonctionné pendant 35 heures et qui ne présente d'autre détério-

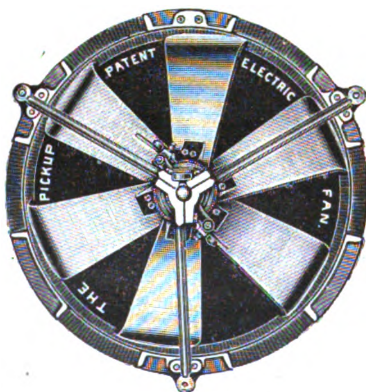


Fig. 22. — Ventilateur aspirateur à courant continu.

ration qu'un léger noircissement à l'une des extrémités du tube capillaire ; les tubes employés par M. Michelson, dans sa mesure du mètre en longueur d'onde exécutée au Bureau international des poids et mesures, ne duraient jamais plus de 4 heures et leur prix était très élevée.

Les accumulateurs étaient représentés par les appareils *Blot* (¹), dont M. Picou a étudié récemment un type construit spécialement pour le transport, sur lequel il a rédigé un rapport que nous ferons connaître bientôt à nos lecteurs.

M. Dinin nous présente des accumulateurs

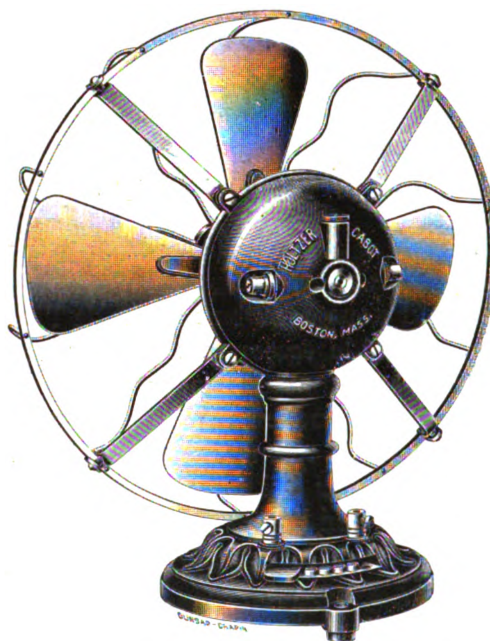


Fig. 23. — Ventilateur à courant alternatif.

Bœse (²) qui ont trouvé récemment un débouché très large dans l'utilisation à l'allumage pour les moteurs à pétrole des automobiles ; dans ce type, le bac est en celluloïd, enveloppé de tôle ; l'étanchéité est parfaite ; un petit modèle a été construit spécialement pour le tricycle de Dion. Les accumulateurs destinés à la traction fournissent 10 ampères-heure par kg du poids total au régime de 2 ampères par kg.

(¹) *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 52, 11 juillet 1896 ; t. X, p. 145, 23 janvier 1897.

(²) *Comptes rendus*, CXXIV, p. 749.

(¹) *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 290 et 432, 17 et 31 août 1895 ; t. VI, p. 36 et 82, 4 et 18 janvier 1896.

(²) *Idem*, t. VII, p. 308, 16 mai 1896.

M. Cadiot expose un grand nombre d'appareils de chauffage, au sujet desquels M. Collin a fait une communication à la Société Internationale des Electriciens (1); nous donnerons les noms de plusieurs appareils (fig. 17 à 21). A signaler également plusieurs ventilateurs (fig. 22 et 23) et le dynamo-moteur « Bébé », dont nous notons plusieurs détails de construction (fig. 24); le noyau, monté sur un mandrin, ne peut pas jouer sur l'arbre; dans le collecteur il n'y a pas de lames de connexion; les fils sont soudés directement à la face extérieure du segment, puis traversent un disque placé à côté du collecteur et viennent se souder à l'induit. Le noyau de la poulie s'étend jusqu'à celui de l'induit et ils sont réunis l'un à l'autre; l'arbre est en acier tourné.

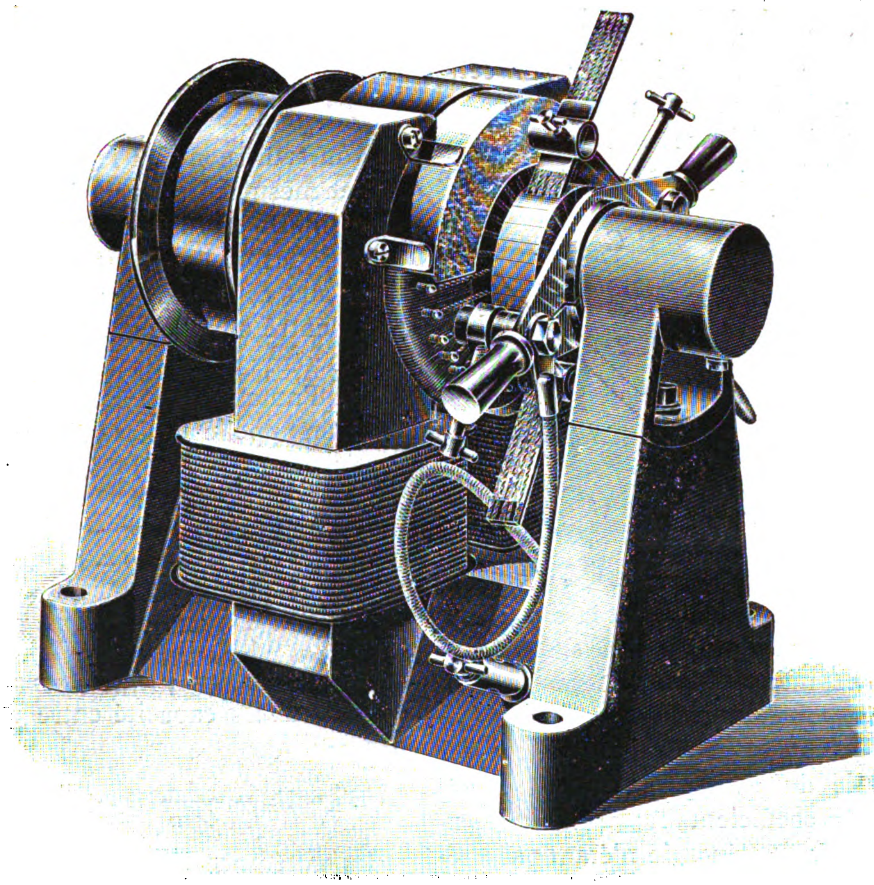


Fig. 24. — Dynamo-moteur et transformateur « Bébé ».

En dehors de l'électricité, nous avons remarqué le moteur à pétrole de *M. Loyal;* la pulvérisation du pétrole se fait automatiquement; il en est de même de l'allumage, qui se produit dans la compression d'un reste de gaz brûlés avec le pétrole vaporisé. L'appareil ne comporte que deux soupapes, un cylindre et un piston; il n'y a pas de circulation d'eau; la dépense annoncée est de 250 gr d'essence minérale ordinaire par cheval-heure.

Signalons, à propos des moteurs, l'allumeur de *M. Girard*, pour moteurs à gaz, exposé par M. Gaiffe. Un petit moteur électrique met en mouvement une dynamo spéciale, qui n'est en somme qu'une bobine d'induction dans laquelle le courant est produit dans le primaire par rotation entre

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 323, 13 février 1897.

les pôles d'un aimant. On rompt le circuit primaire au moment où le courant est maximum, et, grâce à un condensateur placé aux bornes, on peut obtenir dans le secondaire une étincelle qui, suivant les modèles, varie de 5 mm jusqu'à 5 ou 6 cm.

Deux conférences ont été faites le vendredi, dans l'après-midi, l'une de M. Gossart, sur la lampe à acétylène, l'autre de M. l'abbé le Dentec, sur l'optique ; nous regrettons de ne pouvoir insister sur cette dernière, non plus que sur un grand nombre d'appareils et d'expériences qui présentaient un grand intérêt au point de vue de la physique générale.

C. Raveau.

L'ÉNERGIE D'UN SYSTÈME ÉLECTRISÉ ET LES CAPACITÉS ENTRE CONDUCTEURS

On représente ordinairement par une expression $\Sigma A_{mn} Q_m Q_n + \frac{1}{2} \Sigma A_m Q_m$ l'énergie d'un système électrisé, Q_m étant la charge du conducteur *m*; or l'énergie d'un système de conducteurs est une expression dépourvue de sens, si on ne considère pas un système complet, dont la charge totale ΣQ est nulle ; c'est alors l'énergie du champ électrique. Il en résulte que les coefficients A_{mn} sont indéterminés, la valeur de l'énergie n'étant pas altérée si on ajoute à l'expression ci-dessus le produit $\Sigma Q \times \Sigma \lambda Q$; les λ étant des constantes arbitraires en nombre *p* égal à celui des conducteurs. Parmi toutes ces expressions équivalentes, une est particulièrement remarquable, on l'appellera *régulière;* on l'obtient en prenant $\lambda_m = -\frac{1}{2} A_m$, ce qui fait disparaître tous les Q^2.

Posant alors $H_{mn} = A_m + A_n - 2 A_{mn}$, l'énergie s'écrit $-\frac{1}{2} \Sigma H_{mn} Q_m Q_n$ et son expression ne renferme plus que $\frac{p(p-1)}{2}$ constantes qui ont un sens bien déterminé ; en effet $\frac{1}{2} H_{mn}$ sera le coefficient de Q_m et de Q_n dans la différence de potentiel $V_m - V_n$, c'est-à-dire que si tous les conducteurs sont isolés et déchargés sauf deux (*m*) et (*n*), ceux-ci prendront des charges $\pm Q$ égales et de signe contraire et l'on aura $V_m - V_n = H_{mn} Q$; H_{mn} est donc l'*inverse de la capacité* mesurée entre ces deux conducteurs. Les coefficients H tous positifs, sont assujettis à cette condition, que si l'on considère H_{lm}, H_{mn}, H_{ln}, chacun des trois est plus petit que la somme des deux autres.

Non seulement les H sont facilement définis et mesurables, mais leur emploi permet de résoudre simplement et par des méthodes graphiques si l'on veut, les questions relatives aux capacités des groupes de conducteurs entre eux. Si par exemple, on réunit les conducteurs 1 et 2, de manière à n'en plus former qu'un auquel on conservera le numéro 1, et qu'on appelle H' les valeurs des H dans le système ainsi formé, on aura :

$$H'_{13} = \frac{1}{4 H_{13}} [2 H_{12} H_{13} + 2 H_{12} H_{23} + 2 H_{13} H_{23} - H_{12} - H_{13}^2 - H_{23}^2],$$

c'est-à-dire que H'_{13} est le carré de la hauteur h'_{13} d'un triangle dont les côtés sont $h_{12} = \sqrt{H_{12}}$, $h_{13} = \sqrt{H_{13}}$, $h_{23} = \sqrt{H_{23}}$.

La nouvelle capacité entre 3 et 4 sera donnée par

$$H'_{34} = H_{34} - \frac{1}{4 H_{12}} [H_{13} + H_{24} - H_{23} - H_{14}]^2.$$

La différence $H_{34} - H'_{34}$ est donc le carré de la distance des pieds des perpendiculaires abaissées sur le côté h_{12} dans deux triangles dont celui-ci formerait la base, l'un des triangles ayant pour côtés h_{13} et h_{23}, l'autre h_{14} et h_{24}.

On en conclura par voie géométrique, que la hauteur *h* du tétraèdre dont le point 4 est le sommet, le triangle h_{23}, h_{34}, h_{24} la base, et h_{42}, h_{43}, h_{14} les arêtes, est la racine de l'inverse de la capacité du conducteur 4 par rapport aux conducteurs 1, 2 et 3 réunis. La résolution des quatre équations $V_1 - V_2 = V_1 - V_3 = 0$, $V_1 - V_4 = 1$, $\Sigma Q = 0$, donne également $1 = Q h^2$.

Ces calculs ou constructions se simplifient beaucoup dans la plupart des cas par raison de symétrie; par exemple, si l'on a un système de trois fils équidistants, insérés dans une enveloppe commune à la terre, les six coefficients se réduisent à deux, l'inverse $\frac{1}{C}$ de la capacité entre deux fils, et l'inverse $\frac{1}{C'}$ de la capacité entre l'un d'eux et la terre. Si l'on groupe deux fils, la capacité entre la troisième et la terre reste C', la capacité entre le troisième et le groupe des deux premiers est $\frac{4C}{3}$, entre le groupe et la terre $\frac{4CC'}{4C-C'}$ et enfin la capacité entre la terre et le groupe des trois fils $\frac{3CC'}{3C-C'}$; la capacité entre un seul fil et le reste est $C\,\frac{4C-C'}{3C-C'}$.

La forme régulière paraît donc préférable à la forme arbitraire adoptée par les auteurs à la suite de Maxwell.

A. Potier,
De l'Institut.

L'APPLICATION DU PRINCIPE DE CARNOT A LA THÉORIE DE LA PILE [1]

II. — Les mémoires fondamentaux

Mon intention, en écrivant ce chapitre, n'est pas de chercher à retracer l'histoire des idées dont l'évolution a abouti aux doctrines actuellement admises par tous les physiciens; il est sans doute intéressant de retrouver dans un grand nombre de travaux la distinction plus ou moins nettement formulée, entre les différentes quantités de chaleur qui apparaissent dans une pile en activité, mais cette étude historique nous entraînerait beaucoup trop loin. Je renverrai le lecteur curieux de se renseigner à ce point de vue à une étude très substantielle de M. Duhem [1] et j'aborderai immédiatement l'exposé des mémoires qui ont définitivement fondé la théorie; je rappellerai seulement qu'au point de vue expérimental il était parfaitement établi, avant les premiers travaux de Helmholtz, que la chaleur voltaïque n'est pas égale à la chaleur chimique et que la différence de ces deux quantités peut avoir un signe quelconque.

Le premier mémoire de Helmholtz. — La première application rigoureuse du principe de Carnot à la pile a été faite par Helmholtz dans son mémoire : *Sur les courants galvaniques produits par des différences de concentration; conséquences de la théorie mécanique de la chaleur* [2]. Le cas étudié est celui d'une pile dont les deux électrodes, qui sont d'un même métal, plongent dans des dissolutions différemment concentrées d'un même sel de ce métal; le passage d'un courant a pour effet, outre qu'il transporte du métal d'une électrode à l'autre, de transporter également le sel de façon à changer les concentrations. On peut chercher à maintenir constante la concentration en chaque point en enlevant de l'eau aux parties de la dissolution qui tendent à se diluer tandis qu'on en ajoute aux autres; il est facile de montrer que la quantité d'eau totale nécessaire pour effectuer ces opérations est nulle. On peut donc imaginer que, pendant le passage du courant, on amène d'une façon continue de l'eau d'un point à un autre du liquide, ce que l'on exécutera d'une façon réversible par vaporisation et condensation; pendant toute la durée de ces opérations la température pourra être maintenue constante. Le phénomène peut être rendu sensiblement réversible; en effet « le courant électrique peut être rendu assez lent pour que le dégagement de chaleur proportionnel au carré de l'intensité dans la résistance du circuit devienne infiniment petit en comparaison des

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 10 avril, p. 97.

(1) Duhem, *Le potentiel thermodynamique*, 1re partie, chap. VI.

(2) *Monatsberichte* de l'Académie de Berlin, 26 novembre 1867. *Annales de Wiedemann*, t. III, p. 201.

effets étudiés précédemment, lesquels sont proportionnels à la première puissance de l'intensité. De même, pour la diffusion qui se produit entre parties diversement concentrées de la dissolution, on pourrait la réduire au minimum en intercalant des tubes de petit diamètre, sans modifier par là la force électromotrice de l'appareil, qu'il s'agit de calculer. »

« On peut donc négliger ces deux phénomènes irréversibles et appliquer le principe de Carnot-Clausius à ceux qui sont réversibles. La température de tous les corps qui prennent part à l'opération étant la même et demeurant constante, il ne peut pas y avoir de chaleur transformée en travail ni, par l'intermédiaire des phénomènes réversibles, de travail transformé en chaleur. La somme des quantités de travail fournies et reçues doit donc être nulle d'une part, et d'autre part aussi celle des quantités de chaleur dégagées et absorbées. »

On a ainsi deux équations : l'une ne nous apprend rien de particulier ; c'est celle qui a rapport aux quantités de chaleur. L'autre équation exprime que le travail qu'on recueille quand on fait passer l'unité d'électricité à travers le système, quantité numériquement égale à la force électromotrice de la pile, a la même valeur que le travail qu'il faut fournir pour maintenir la concentration constante pendant ce passage ; ce dernier travail ne dépend que de la tension de vapeur de la dissolution. Les valeurs de cette tension aux deux électrodes déterminent la différence de potentiel.

Quelques années après la publication de ce mémoire, M. Chaperon [1] a émis des idées absolument analogues, qu'il a appliquées à une pile « analogue à celle de Daniell et formée de deux métaux A et B immergés dans des composés simples que donnent ces métaux avec un élément gazeux (le chlore par exemple) ». Il suppose que « les deux chlorures (hypothétiques si l'on veut) des métaux A et B ont, à la température t à laquelle toutes les réactions auront lieu, des tensions de dissociation sensibles et sont susceptibles d'être entièrement décomposés ou recomposés à cette température sous l'action d'une pression mécanique extérieure ».

L'analogie avec les piles fonctionnant par différence de concentration est évidente ; la question est traitée par une méthode absolument parallèle à celle de Helmholtz, ce qui me dispensera de m'étendre sur ce travail très intéressant. On ne peut que regretter pour M. Chaperon qu'il n'ait pas eu la priorité de son idée et qu'il n'ait pas pensé à l'appliquer à un cas réalisable, permettant des vérifications expérimentales.

([1]) CHAPERON, *Essai d'application du principe de Carnot aux actions électrochimiques* (*Comptes rendus*, t. XCII, p 786, 1881).

La théorie de M. Willard Gibbs. — M. Gibbs a consacré à l'étude de la pile les vingt pages qui terminent son mémoire : *Sur l'équilibre des substances hétérogènes* [1], sous le titre : *Modifications des conditions d'équilibre par la force électromotrice;* ce chapitre est lui-même divisé en deux parties, dont nous étudierons la seconde : *Propriétés générales d'un appareil électrochimique parfait*, c'est-à-dire de ce que nous avons appelé une pile (ou un voltamètre) réversible.

L'accroissement d'énergie de la pile dans une transformation quelconque a pour expression la plus générale

$$d\varepsilon = (V' - V'')\, de + dQ + dW_g + dW_P, \quad (1)$$

de désignant la quantité d'électricité qui traverse la pile, V' et V'' les potentiels des bornes supposées constituées par le même métal, dW_g le travail qui pourrait être accompli par la pesanteur dans le déplacement des matières contenues dans la pile, dW_p le travail des pressions extérieures.

([1]) Ce mémoire fondamental, dans lequel M. Gibbs a traité les questions les plus variées, a paru dans les *Transactions de l'Académie du Connecticut* en juin 1876 et juillet 1878. M. Ostwald l'a traduit, avec deux autres mémoires de moindre importance, sous le titre *Thermodynamische Studien* (Leipzig, 1892).

La pile subit en même temps une variation d'entropie dS satisfaisant à la solution

$$dS = \frac{dQ}{T} \tag{2}$$

et l'équation générale (1) peut s'écrire

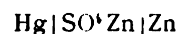
$$V'' - V' = \frac{d\varepsilon}{de} + T\frac{dS}{de} + \frac{dW_g}{de} + \frac{dW_p}{de}. \tag{3}$$

On néglige d'ordinaire le terme en $T\frac{dS}{de}$, c'est-à-dire qu'on admet que dans une pile réversible dont la température est maintenue constante, il ne se produit ni dégagement ni absorption de chaleur « à l'exception de la chaleur qu'on peut diminuer au delà de toutes limites en augmentant le temps qu'une quantité donnée d'électricité met à passer ». Cette hypothèse n'est nullement justifiée. M. Gibbs cite un cas dans lequel tous les termes du second membre s'annulent, sauf le seul $T\frac{dS}{de}$, qui détermine alors la force électromotrice de la pile. C'est celui d'une pile de gaz de Grove qu'on aurait chargée à l'avance d'hydrogène et d'azote. Un courant d'un sens convenable aura pour seul effet de faire passer par voie réversible, de l'hydrogène dans l'azote, ce qui ne modifie pas l'énergie du système; les termes dW_p et dW_g peuvent être rendus nuls et la force électromotrice correspond uniquement à la variation d'entropie (1).

On pourrait même éviter l'introduction d'un gaz inerte en plaçant le liquide dans un tube en U, ce qui permettrait de maintenir le gaz à des pressions différentes au voisinage des deux électrodes. M. Gibbs ne doute pas qu'un tel appareil fonctionnerait de façon à diminuer la différence des pressions, ce qui n'entraînerait aucune variation de l'énergie interne du gaz. La pesanteur joue un rôle dans cet appareil, mais il est à remarquer qu'elle fournit un terme de signe contraire à celui de la force électromotrice, laquelle est bien déterminée essentiellement par la variation d'entropie.

Passant au cas des courants produits par différence de concentration, M. Gibbs remarque que si ces courants ne dépendaient que de la variation d'énergie, ils ne se produiraient pas entre des dissolutions dont le mélange n'est accompagné d'aucun phénomène thermique et qu'entre des dissolutions dont le mélange absorbe de la chaleur, le courant tendrait à accroître les différences de concentration, toutes conclusions contraires à la théorie que Helmholtz a donnée de ces phénomènes.

Un exemple qui montre encore d'une façon plus frappante la nécessité de tenir compte des variations d'entropie est celui de la pile



$Hg \mid SO^4Zn \mid Zn$

dans laquelle le courant fait passer le zinc dans le mercure, c'est-à-dire produit un phénomène *endothermique* (1). Si au mercure on ajoute du zinc, la force électromotrice s'annule rapidement, puis change de signe. M. Gibbs remarque qu'il est impossible que, dans ce cas, la seule action produite soit le passage d'une partie de zinc de l'amalgame sur l'électrode métallique solide, sans quoi on reviendrait à l'état initial en redissolvant le zinc transporté et on aurait une machine qui produirait du travail extérieur par un cycle fermé isotherme.

Dans toutes les piles étudiées ci-dessus, sauf la dernière, la force électromotrice est faible; passons aux piles usuelles : il ne semble pas qu'elles fournissent le moyen d'obtenir

(1) Lord RAYLEIGH (*Phil. Magaz.*, t. XLIX, p. 311, 1875) a fait remarquer que l'on peut séparer ou mélanger deux gaz par voie réversible quand l'un d'eux est condensable en un liquide ou absorbable par un solide qui ne dissout pas l'autre. Le travail nécessaire pour effectuer le mélange par cette méthode est le même que pour amener les gaz séparés à la pression qu'ils ont chacun dans le mélange; la variation d'énergie étant nulle dans cette opération, la variation d'entropie se calcule immédiatement. C'est sur cette remarque que M. Gibbs a basé sa célèbre théorie des mélanges gazeux et de la dissociation des gaz. M. Poincaré a exposé plus tard des considérations fondées sur le même principe (*Thermodynamique*, p. 330).

(1) La chaleur de dissolution du zinc dans le mercure a été étudiée par J. REGNAULD (*Comptes rendus*, t. LI, p. 778). La force électromotrice de la pile, déterminée par GAUGAIN (*Ibid.*, t. XLII, p. 430) est 1,12 Daniel.

une quantité de travail mécanique exactement équivalente à la quantité de chaleur qui serait dégagée dans la réaction chimique si elle s'opérait librement.

Prenons le cas d'un composé dissociable, l'eau par exemple. Portons-la à une température T suffisamment élevée pour produire la décomposition, séparons les gaz par filtration et ramenons-les à la température ordinaire t; les quantités de chaleur nécessaires pour élever et pour abaisser la température sont à peu près égales et de signe contraire; le seul effet thermique notable est l'absorption de la quantité de chaleur Q, due à la dissociation. Nous compenserons cet effet en faisant fonctionner suivant un cycle de Carnot une machine qui absorbera, à la température ordinaire, une quantité de chaleur $Q\frac{t+273}{T+273}$; c'est cette même quantité qu'il faudrait fournir à un voltamètre pour maintenir la température constante pendant la décomposition; elle représente une fraction d'autant plus notable de la variation d'énergie totale que la température T est plus basse.

Il ne faudrait pas conclure de cet exemple que la force électromotrice est toujours inférieure à la valeur qui correspondrait à la variation d'énergie qui se produit dans la réaction; on sait qu'il y a sensiblement égalité dans le cas de la pile de Daniell; l'inégalité a lieu dans un sens ou dans l'autre, d'après les expériences de Favre, suivant le degré de concentration de l'acide azotique dans la pile de Grove.

Après avoir examiné en détail ces expériences et dit quelques mots de l'influence que peut avoir sur la force électromotrice de décomposition la dissolution des gaz mis en liberté, M. Gibbs termine en remarquant que, si l'énergie de la pile déterminait seule la force électromotrice, on constaterait une variation brusque au moment de la fusion d'une des électrodes métalliques; or, M. Raoult n'a constaté, sur un élément dont une électrode était de bismuth qu'une variation de 0,002 Daniell, entre deux températures distantes de 15°, de part et d'autre, du point de fusion, bien que la variation d'énergie du métal équivalût à 0,037 Daniell. Mais cette variation d'énergie est accompagnée d'une variation d'entropie correspondante et l'effet sur la force électromotrice est nul.

Le second mémoire de Helmholtz. — Ce mémoire qui a pour titre : *la Thermodynamique des phénomènes chimiques*, a été publié en 1882 (¹), à une époque où son auteur n'avait pas eu encore connaissance des travaux de M. Gibbs. Helmholtz s'attache d'abord à montrer qu'il faut faire deux parts dans les quantités d'énergie qu'absorbent ou dégagent les réactions chimiques.

La fusion, la vaporisation, la dilatation des gaz sont accompagnées d'une absorption ou d'un dégagement de chaleur, à la température du corps, chaleur qui, d'après le principe de Carnot, ne peut être transformée que partiellement en travail et par l'intermédiaire d'un corps de température différente; en même temps il se produit du travail extérieur entièrement utilisable. Or, des changements d'état physique ou de densité sont liés nécessairement à la plupart des réactions chimiques; les forces chimiques peuvent donc produire non seulement de la chaleur, mais encore d'autres formes de l'énergie, et cela sans qu'il y ait besoin d'une variation de température correspondante, comme c'est le cas, par exemple, pour le travail fourni par les piles galvaniques : il ne semble pas douteux, dès lors, qu'il y ait à distinguer dans les phénomènes chimiques entre la partie des actions d'affinité capable de fournir librement d'autres formes de travail, et la partie qui ne peut se manifester que sous forme de chaleur.

Voici à peu près textuellement les raisonnements que fait Helmholtz sur la pile :

« Les phénomènes qui ont pour siège une pile galvanique constante, quand l'intensité du courant est infiniment petite (ce qui permet de négliger le dégagement de chaleur pro-

(¹) Ce mémoire a été traduit *in extenso* dans le *Journal de Physique* (t. III, p. 396), par M. Chaperon.

portionnel à la résistance et au carré de cette intensité dans le circuit comme des quantités infiniment petites du second ordre), sont des phénomènes parfaitement réversibles et doivent obéir aux lois thermodynamiques des phénomènes réversibles. Soit une pile de température absolue uniforme θ ; le passage de la quantité d'électricité de modifie son état en produisant une modification chimique proportionnelle à $d\varepsilon$, et nous pouvons considérer l'état de l'élément comme défini par la quantité d'électricité ε, qui a traversé l'élément dans une direction déterminée, qui sera par définition positive. Si les pôles de la pile constante sont reliés aux deux armatures d'un condensateur de grande capacité, chargé à une différenee de potentiel p, le passage de la quantité $d\varepsilon$ de l'armature négative à l'armature positive du condensateur correspondrait à un accroissement $pd\varepsilon$ de l'énergie électrostatique du système. Désignons par dQ la quantité de chaleur qu'il faut fournir à l'élément pendant ce transport de $d\varepsilon$ pour maintenir sa température constante, par J l'équivalent mécanique de la chaleur et par U l'énergie totale qu'il contient et que nous pouvons considérer comme fonction de θ et de ε ; le principe de la conservation de l'énergie nous donne

$$\mathrm{J}d\mathrm{Q} = \frac{d\mathrm{U}}{d\theta}\,d\theta + \left(\frac{d\mathrm{U}}{d\theta} + p\right)d\varepsilon.$$

« D'autre part, il existe, d'après le principe de Carnot-Clausius, une fonction des variables θ et ε, que M. Clausius a appelée l'entropie du système et dont la variation est

$$d\mathrm{S} = \frac{1}{\theta}\cdot \mathrm{J}d\mathrm{Q} = \frac{1}{\theta}\frac{d\mathrm{U}}{d\theta}\,d\theta + \frac{1}{\theta}\left[\frac{d\mathrm{U}}{d\varepsilon} + p\right]d\varepsilon. \text{ »}$$

En exprimant que dS est une différentielle totale exacte, Helmholtz trouve que la quantité de chaleur à fournir pour maintenir la la température constante pendant le passage de la quantité d'électricité $d\varepsilon$ a pour expression

$$d\mathrm{Q} = \frac{1}{\mathrm{J}}\,\theta\,\frac{dp}{d\theta}\,d\varepsilon.$$

Cette quantité de chaleur dQ ne sera pas facile à distinguer expérimentalement de la chaleur de Joule et des effets Peltier, en admettant qu'elle diffère de ces derniers; mais on pourra facilement étudier la variation $\frac{dp}{d\theta}$.

Les formules de M. Lippmann et de M. Duhem. — M. Lippmann [1] a repris l'exposé de la théorie de Helmholtz qu'il a à peine modifié ; il suppose seulement que la pile est reliée à une dynamo qu'on peut faire fonctionner comme génératrice ou réceptrice de façon à décrire un cycle fermé. Il traite simultanément l'influence de la concentration en supposant l'élément enfermé dans un corps de pompe rempli de vapeur d'eau. On a alors les équations

$$d\mathrm{U} = d\mathrm{Q} - \mathrm{A}d\mathrm{T}$$

dT représentant le travail extérieur accompli dans un transformateur élémentaire, lequel a pour expression

$$pdv + edm$$

(e est la force électromotrice, dm la quantité d'électricité qui traverse l'élément). Si l'on écrit la quantité de chaleur sous la forme

$$d\mathrm{Q} = cd\theta + l_1dm + l_2dv$$

on obtiendra, par les procédés ordinaires, la relation de Helmholtz et une autre, que M. Lippmann a établie le premier :

$$\frac{dc}{dm} = \mathrm{A}\theta\,\frac{d^2e}{d\theta^2}.$$

Elle exprime que, si la capacité calorifique totale des corps qui constituent la pile ne change pas par le fait de la réaction, c'est-à-dire si la loi de Kopp et Wœstyne s'applique, la force électromotrice est fonction linéaire de la température.

Une relation qui se déduit immédiatement des équations de M. Lippmann est la suivante :

$$\frac{dp}{dm} = \frac{de}{dv}$$

qui exprime qu'à température constante dT est une différentielle constante ; si l'on exprime que

$$d\mathrm{T} - d(pv)$$

(1) De l'action de la chaleur sur les piles et de la loi de Kopp et Wœstyne (*Comptes rendus*, t. XCIX, p. 896 et *Thermodynamique*, p. 205)

et aussi dans les mêmes conditions une différentielle totale exacte, on trouve

$$\frac{dT}{dp} = -\frac{dv}{dm}$$

ce qui donne la variation de la force électromotrice sous l'influence de la pression en fonction de la variation de volume qui accompagne la réaction. Cette formule a été donnée pour la première fois par M. Duhem [1], qui l'a établie par une voie identique en principe à celle que je viens d'indiquer.

L'application du principe de Carnot à la pile a fourni entre les mains de M. Gibbs et de Helmholtz beaucoup d'autres résultats intéressants, en particulier touchant l'influence des gaz produits par l'électrolyse. Je n'ai exposé ici que les parties des différents mémoires qui ont trait à l'électrolyse normale, mon but ayant été de rappeler seulement comment l'application du principe de Carnot permet d'établir, dans le cas des cycles isothermes, les relations qui existent entre la force électromotrice et la concentration ou la pression d'une part et, d'autre part, de donner l'expression des dérivées première et seconde de cette force électromotrice en fonction de la température; j'espère que la lecture de cet article inspirera surtout le désir connaître mieux les travaux originaux et de comparer les procédés d'exposition si différents de M. Gibbs et de Helmholtz. On remarquera que je n'ai pas écrit une seule fois les mots de potentiel thermodynamique, d'énergie libre, de travail non compensé; l'introduction de ces mots nouveaux a eu trop souvent, à mon avis, le fâcheux effet de faire croire que les notions élémentaires de la thermodynamique des corps simples sont insuffisantes pour établir la théorie de la pile et qu'il faut se préparer, quand on aborde ce sujet, à entrer dans un nouvel ordre d'idées. Je me suis efforcé de montrer, dans tout le cours de cet article, que cette idée est fausse et, par les citations que j'ai faites, d'établir que les fondateurs de la théorie se sont exprimés dans le langage ordinaire; pour appliquer le principe de Carnot à la pile, il suffisait d'avoir l'idée de traiter cette question comme les cas plus simples et de chercher à distinguer les quantités qui figurent dans les formules ordinaires. Sans méconnaître la hardiesse et la profondeur de cette intuition, il semble qu'aujourd'hui qu'elle est justifiée on pourrait, dans l'enseignement, par un exposé plus large au début du principe de Carnot, amener l'esprit des auditeurs à l'accepter sans difficulté. C'est alors au début de l'exposition qu'on pourra placer cette conception de l'énergie libre, intéressante à tant de points de vue et qui apparaîtra alors dans son vrai jour, comme s'étendant à toute la thermodynamique.

C. Raveau.

(1) Duhem, *Le potentiel thermodynamique*, p. 117.

INSTALLATION

A COURANTS TRIPHASÉS

DU LABORATOIRE DE L'ÉCOLE SPÉCIALE DE MONS [1]

IV. Transformateur

L'ensemble est photographié à la figure 14, l'enveloppe étant enlevée, et le détail en est dessiné aux figures 16 et 17.

L'armature est constituée par une base *a* en fonte à colonne centrale, par un couvercle *b* également en fonte, un boulon d'assemblage *c* en fer à anneau de levage et une enveloppe en tôle pleine de 2 mm d'épaisseur.

Des embases ménagées sur l'axe *a* sont disposées pour recevoir les deux *culasses g* en tôle de fer doux *du circuit magnétique*.

Ces culasses magnétiques sont formées de 446 tôles de 0,2 mm d'épaisseur, séparées par du papier de 0,04 mm, et par deux plaques épaisses de 6 mm, pour la consolidation. Le tout est assemblé par six boulons à écrous fraisés, entourés d'une gaine isolante. Les culasses ont ainsi 120 mm d'épaisseur.

(1) *L'Éclairage Électrique* du 24 avril, p. 193.

Les *trois branches du circuit magnétique* ont la même épaisseur que les culasses et sont constituées de la même façon, en tôles et plaques de fer doux réunies par 15 boulons fraisés.

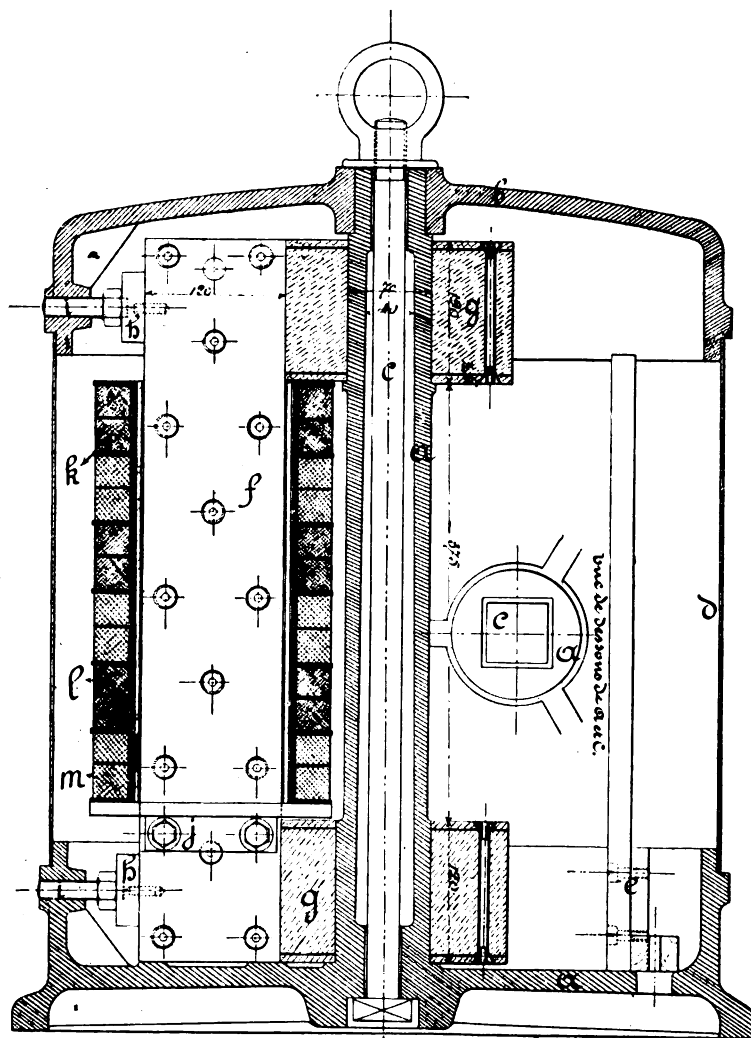


Fig. 16. — Coupe verticale d'un transformateur.

Le rapport de la section fer à la section totale y est de 0,843.

Les branches verticales sont adossées à trois pans coupés des culasses cylindriques comme le montre la figure 17 et y sont pressées par des plaques *h* en fer à goujons filetés et à vis de pression *i* s'appuyant à l'armature *a*. Les vis de pression sont à encastrement de façon que l'ensemble ne puisse se disloquer.

Les bobines sont supportées par des demi-colliers *j* en fonte vissés sur le circuit magnétique.

Quant aux fractions de bobines, elles sont superposées. Un élément de bobine à haute tension est situé entre deux éléments à basse tension et les éléments eux-mêmes sont fractionnés par moitié pour diminuer les chances d'étincelles à travers l'isolant.

Un isolant épais sépare le noyau des bobines et celles-ci entre elles.

Il y a six bobines cloisonnées par branchement du circuit magnétique; trois primaires et trois secondaires.

La *puissance* du transformateur est de 7000 *watts*. Son coefficient de transformation, quant à la force électromotrice est de $\frac{1}{5}$, de sorte qu'il doit fournir

$$\frac{1\,000}{5} = 200 \text{ volts efficaces,}$$

aux bornes du secondaire.

Les *nombres de spires* secondaires et primaires sont 96 et 470 et leur rapport

$$\frac{96}{470} = \frac{1}{4{,}896}.$$

Les sections des fils secondaire et primaire mesurent 28 et 4,9 millimètres carrés.

V. Tableau secondaire et cadre des lampes à incandescence

Comme nous le verrons par la description du tableau secondaire et du cadre des lampes à incandescence, cette partie de l'installation en est une des plus importantes par la raison qu'elle réalise un type pratique de tableau, des combinaisons très diverses utiles pour le

***

laboratoire et un sujet très intéressant et très instructif d'études pour les élèves qui, s'ils y rencontrent beaucoup de difficultés, ne s'habituent ainsi que plus tôt aux problèmes qu'on traite dans la carrière de l'ingénieur électricien.

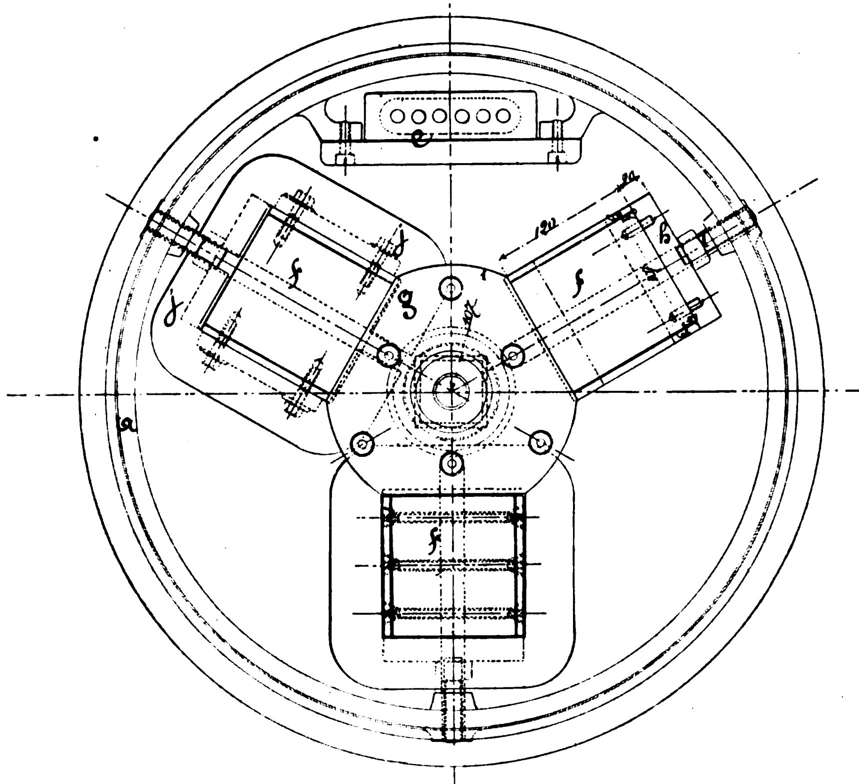


Fig. 17. — Plan d'un transformateur.

La figure 18 représente l'ensemble de la disposition.

On y voit :

A gauche, le moteur muni d'une poulie plate à rebord pour frein de Prony; dans le fond, le tableau noir quadrillé en rouge, qui entoure la salle des triphasés, avec quelques figures relatives à l'enseignement; au milieu, à la hauteur de ces dernières, le tableau secondaire avec de multiples appareils tels que interrupteurs, plombs fusibles, instruments de mesures et bornes; tout en dessous du tableau et en son milieu, les fils d'arrivée des courants du transformateur, dans une enveloppe commune, aboutissant à trois bornes sur une même plaque isolante; dans le coin de droite et en haut du tableau, trois bornes sur plaque unique avec les fils à enveloppe commune conduisant les courants au moteur; au-dessus, contre un rebord formé par une ancienne cheminée du bâtiment, et tranchant sur les murs blancs, le cadre des lampes avec, tout à la partie inférieure, un système de bornes, d'interrupteurs et de commutateurs pour le groupement des lampes en triangle et en étoile lors du fonctionnement avec courants triphasés et en quantité une à une sur deux fils de ligne pour la marche avec des dynamos à courant continu ou alternatif du voltage d'une lampe ou nécessitant une résistance additionnelle. Des cadres analogues, fixes ou portatifs, mais moins importants, sont distribués à profusion dans le laboratoire, au voisinage des dynamos, pour la constitution d'ensembles, servant à des groupes différents d'expérimentateurs.

Nous allons d'abord décrire le tableau secondaire.

La plaque B (fig. 19), en bas et au milieu, porte 3 bornes d'arrivée; les plaques T et U, en haut et aux angles, les bornes de départ pour les lampes et le moteur. Occupons-nous pour le moment du moteur et voyons les liaisons entre les bornes B et U.

Des bornes d'arrivée B *aux bornes de départ* U *pour le moteur*. Les fils conduisant les courants 1, 2 et 3 sont représentés respectivement par des traits pleins (—), ponctués (.....) et mixtes (–.–.–.–).

Le courant 1 venant du transformateur, vers A, arrive en B_1 et se dirige à droite, vers l'angle du croquis, la dérivation de gauche étant supprimée par interrupteur;

de là, il se dirige vers le haut, directement sur la borne U_1.

Le courant 2 suit un chemin parallèle jusqu'à l'ampèremètre I_2; alors, il va à l'ampèremètre J_2 et puis directement à la borne U_2.

L'ampèremètre I_2 est gradué de 0 à 45 ampères en vue de l'indication des courants plus intenses de démarrage du moteur. L'ampèremètre J_2 mesure seulement jusqu'à 25 ampères; il sert en marche normale et il est garanti par la clef L de court-circuit au démarrage.

Le courant 3 se dirige vers le fusible C_3, passe à droite et se rend directement à la borne U_3.

Le courant 2 est donc seul mesuré.

Quant aux forces électromotrices entre 1, 2 et 3, elles sont marquées par le voltmètre P (0 — 220 volts) dans le circuit duquel se trouve une résistance O et un fusible N, et qui est branché sur deux arcs conducteurs du commutateur M à trois directions, dont le croquis est suffisamment clair pour en faire comprendre le fonctionnement. La manette donne contact, d'une part entre l'un des trois plots du haut et l'arc conducteur correspondant, d'autre part, entre le plot du bas situé vis-à-vis et le second arc conducteur.

Des bornes d'arrivée B *aux bornes* T *des lampes*. Les bornes T, fournies par le constructeur avec le tableau primitif, ne servent généralement pas pour le fonctionnement actuel avec les dispositions que nous avons adoptées. On peut cependant y relier des lampes spéciales, celles du cadre, comme nous le verrons plus loin, par les fils marqués de croix et enfin des résistances métalliques quelconques. Sans égard pour l'emploi normal du tableau, décrivons le passage des bornes B aux bornes T.

Le courant 1 passe par le fusible C_1, l'interrupteur D_1 et se rend directement en T_1. Il pourrait aussi se diriger vers les interrupteurs E_1, F_1, G_1, H_1 et le commutateur Q si ceux-ci n'étaient ouverts. Nous donnerons plus loin l'emploi des fils marqués de croix, que l'on peut relier à T 1, 2 et 3 dans certains cas, et qui sont représentés dans la figure.

En résumé, nous voyons que si tous les

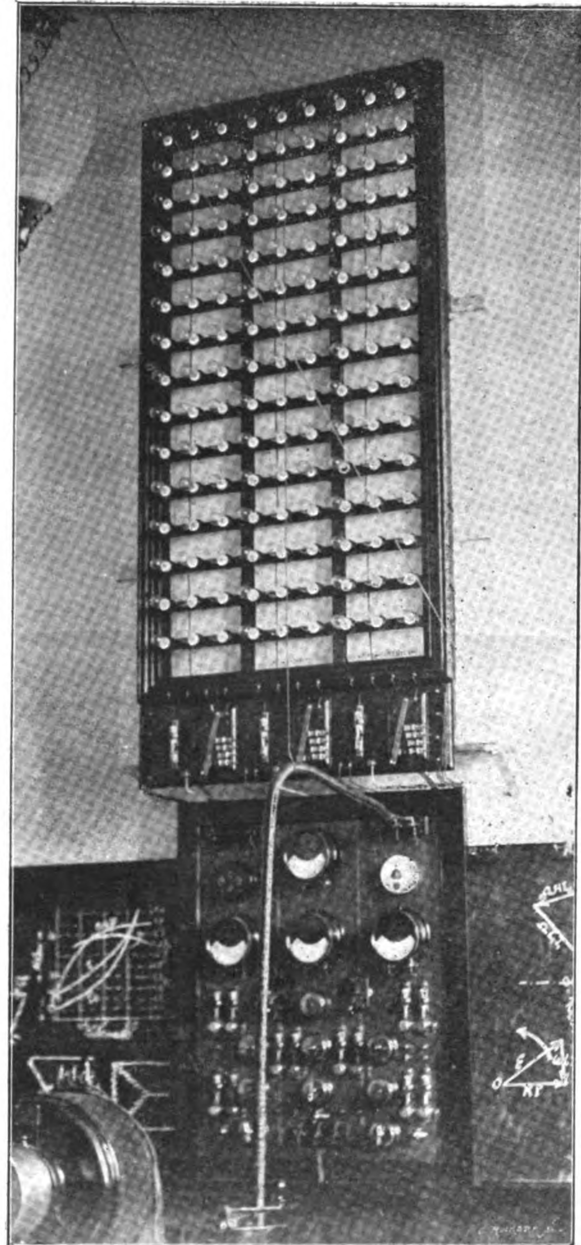


Fig. 18. — Tableau secondaire et cadre de lampes à incandescence.

interrupteurs des fils du courant 1, sauf D_1, sont ouverts, le courant partant de B_1 va directement en T_1 en passant par un fusible et un interrupteur.

On peut voir en suivant les traits ponctués que si les interrupteurs E_2, F_2, G_2, H_2, et le commutateur S sont ouverts, le courant 2 se dirige vers T_2 en passant par les ampère-

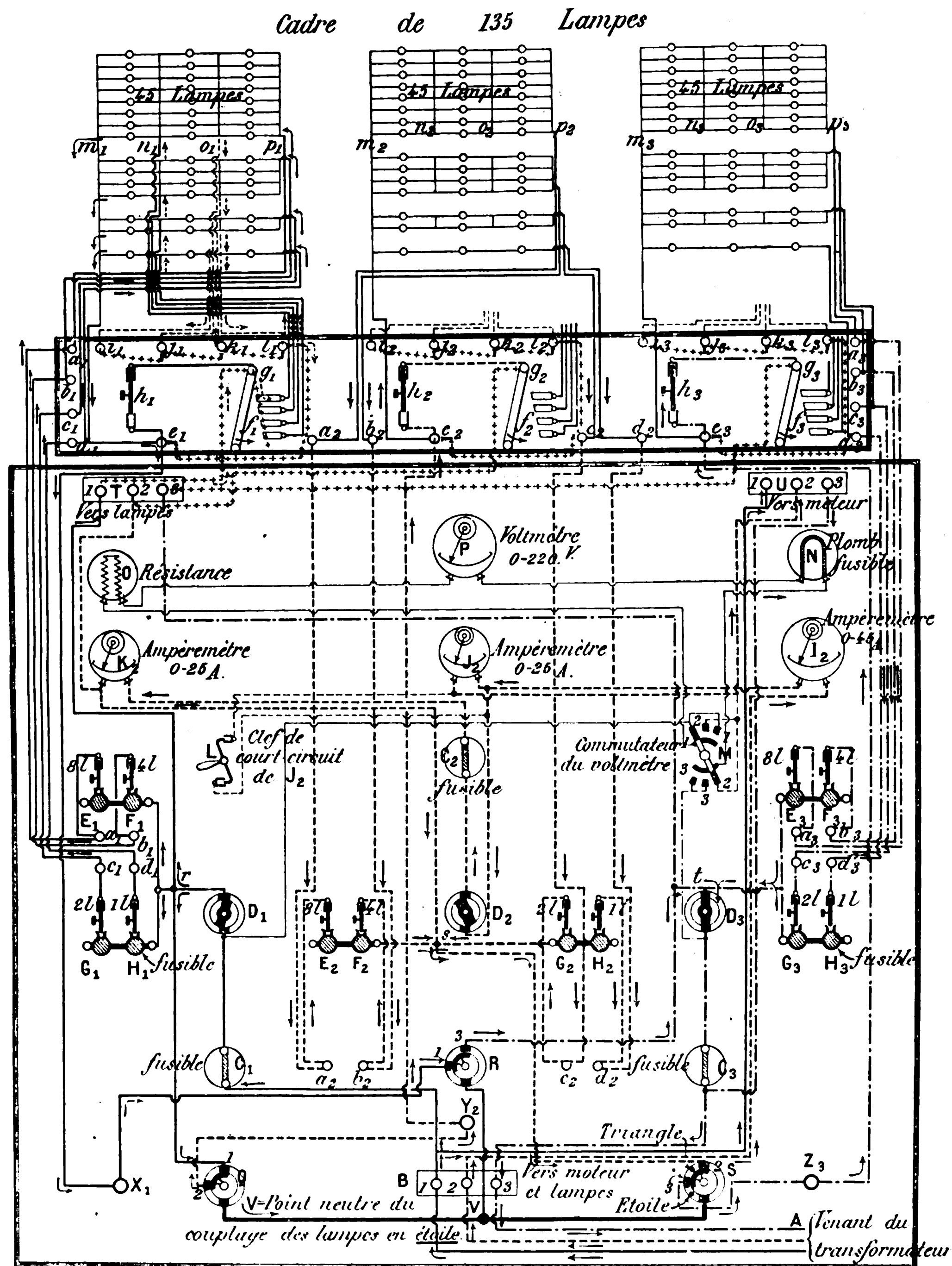


Fig. 19. — Schéma du tableau du transformateur.

mètres I_2 et K_2, l'interrupteur D_2 et le fusible C_2.

Enfin si les interrupteurs E_3, F_3, G_3, H_3, et le commutateur R sont ouverts, le courant 3

va directement à la borne T_3 en traversant le fusible C^3 et l'interrupteur D_3.

Négligeons toujours les *fils marqués de croix* qui ne sont pas employés pour le moment et dont une des extrémités est libre (non connectée) en temps ordinaire, et examinons le fonctionnement du cadre des lampes avec les courants triphasés.

Des bornes d'arrivée au cadre des lampes groupées en triangle. La figure 19 étant assez compliquée, nous en avons dessiné un schéma plus simple, mais incomplet, sur la figure 20. Les appareils y portent les mêmes lettres.

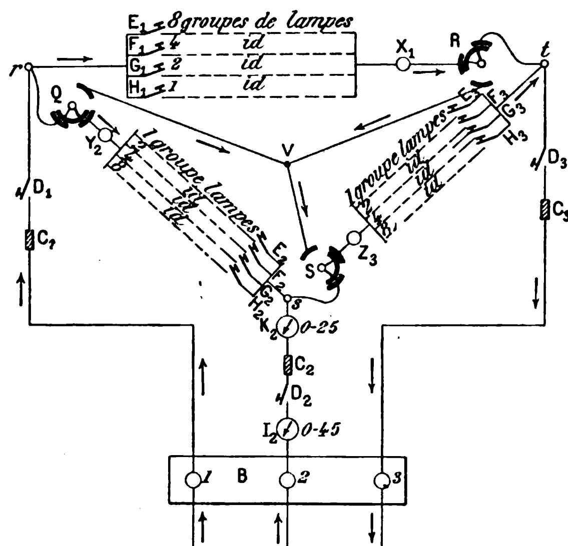


Fig. 20. — Schéma du tableau secondaire. Détail.

La manette des commutateurs Q, R et S y est placée pour le groupement en triangle, comme à la figure 19. Nous croyons qu'il est inutile d'expliquer ce schéma quant aux grandes lignes; il se comprend aisément de lui-même et on le suit facilement sur la figure 19 qui représente le tableau réel. Mais il est incomplet entre les interrupteurs E, F, G, H et les bornes X_1, Y_2, Z_3. Aussi, c'est cette partie du montage que nous allons étudier en détail sur la figure 19, d'abord pour le circuit n° 1.

De la borne B_1, le courant se rend au point de jonction r et de là aux 4 interrupteurs des lampes d'un côté et au commutateur Q de l'autre. C'est le premier chemin que nous suivons.

Le courant passe donc par les interrupteurs E_1, F_1, G_1, H_1 ou par un nombre quelconque de ses appareils et se dirige vers les lampes par les bornes a_1, b_1, c_1, d_1 qui donnent accès, la première à 8 groupes de trois lampes en tension; la deuxième à 4 groupes, la troisième à 2 groupes et la quatrième à un seul groupe, toutes les entrées aux ampoules à incandescence se faisant sur la verticale de p_1.

Les lampes étant de 65 volts, le voltage peut s'élever pour 3 lampes en tension à 195 ou 200 volts environ, force électromotrice du secondaire du transformateur.

Le retour du courant des lampes ne peut se faire que par m_1, car le commutateur f_1 est ouvert et les fils marqués de croix ne sont pas connectés, ce qui empêche le retour par n_1 ou o_1. De m_1 le courant se dirige vers X_1 par e_1.

Les courants 2 et 3 suivent un parcours analogue entre les points s et t et les bornes Y_2 et Z_3 par les interrupteurs, les bornes des lampes situées à la partie inférieure du cadre, les fils p_2, p_3, m_2, m_3 et les bornes e_2 et e_3. Les interrupteurs des lampes sont à bouchon fusible. Les indications 8 *l.*, 4 *l.*, 2 *l.* et 1 *l.* désignent les interrupteurs qui commandent 8, 4, 2 et 1 groupes de lampes.

Des bornes d'arrivée aux cadres des lampes groupées en étoile.

Le schéma de la figure 20 montre bien qu'une simple rotation des axes des commutateurs Q, R et S suffit pour disposer les lampes en étoile, la graduation de ces dernières se faisant comme pour le triangle.

Cette commutation fait tomber la force électromotrice aux bornes des lampes à

$$\frac{200}{\sqrt{3}} = 116 \text{ volts.}$$

Les trois lampes ne peuvent donc rester en tension dans chaque branchement du cadre; deux suffisent. Pour arriver à ce dernier résultat, il suffit de fermer les interrupteurs f_1, f_2, f_3 de la figure 19 qui mettent en court-

circuit les dernières lampes des branchements, en produisant le retour par n_1, n_2, n_3 et, en particulier pour le courant 1, par $n_1 f_1$ g_1 $h_1 e_1$ X_1.

Des bornes d'arrivée aux lampes groupées toutes en quantité, l'une avec l'autre, pour le fonctionnement au voltage de 65 *volts.*

Le groupement de toutes les lampes en quantité sur deux fils est quelquefois nécessaire pour les travaux du laboratoire. On se sert alors généralement du cadre comme d'une résistance pour les courants continus ou alternatifs à bas voltage.

Supposons que les commutateurs Q, R et S sont manœuvrés pour le fonctionnement en étoile; les bornes X_1, Y_2 et Z_3 sont ainsi couplées en quantité et toutes les lampes ont un retour commun à la dynamo par X_1 ou Y_2 ou Z_3,

L'entrée du courant se fait par les bornes B 1, 2, 3 qu'on peut réunir ensemble.

Voyons comment le courant circule à partir de B_1. Le parcours est analogue de B_2 et de B_3.

De B_1, le va courant en r par C_1 et D_1. De là, il passe par les interrupteurs E_1, F_1, G_1, H_1, les bornes a_1, b_1, c_1, d_1 et les fils p_1, ou bien il se dirige vers T_1 et de ce point, par le fil T_1 g_1 marqué de croix, qui est maintenant connecté, f_1 étant fermé et h_1 ouvert, il monte aux lampes par n_1. L'une des sorties du cadre se fait par m_1, e_1, X_1, l'autre par les bornes i_1, j_1, k_1, l_1 et le fil $l_1 e_1$ marqué de croix, également connecté pour ce mode de fonctionnement.

Le même montage existe pour les deux autres séries de 45 lampes.

On peut se rendre compte par l'étude du cadre et de ses connexions qu'on peut, par des manœuvres bien choisies, grouper les lampes en dérivation une à une de 0 à 135.

(*A suivre.*)

S. Hanappe.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Téléphone de la Phonophore C° (1896).

On a représenté en figure 1 un phonophore à primaire p, p_1, p_2 et secondaire s s_1, s_2 s_3, qui peut d'ailleurs être remplacé par une bobine d'induction quelconque avec condensateur interposé entre le secondaire et les bornes E et L, combinaison qui permet de fonctionner plus ou moins sans être troublé par les courants télégraphiques de la ligne.

Le primaire p p_1 p_2 est fermé par la clef K,

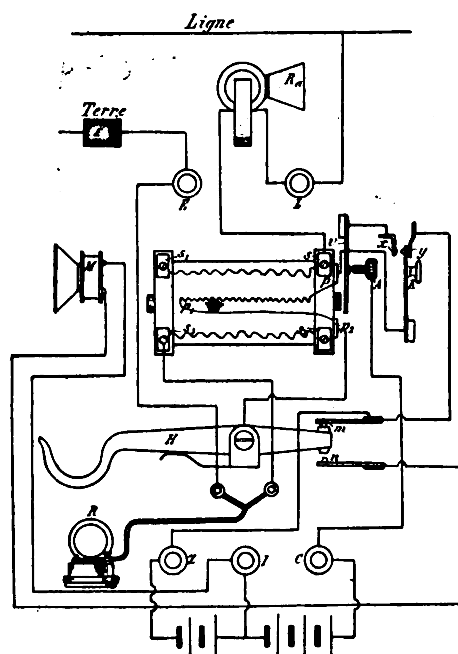


Fig. 1. — Téléphone de la Phonophore C°.

y, m et le crochet H. Lorsqu'on presse K sur x, le primaire est fermé par le trembleur d'appel v, A, la pile CZ, m et H, ce qui induit un courant dans le circuit secondaire s s_1 s_2 s_3, relié par le récepteur Ra à la ligne L et, par le récepteur R, à la terre E.

Quand H se relève, il ferme, par n, le circuit primaire sur la pile IZ et le transmetteur microphonique M; cette formation du circuit primaire renforce les courants d'appel qui passent en R.

Pour communiquer avec deux lignes L_a et L_b, figure 2, on emploie deux récepteurs R_a, R pouvant être reliés par un commutateur J aux bobines A et B. A est un phono-

phore à primaire disposé comme en figure 1 et secondaire relié par s_3 à R et à E. B est un phonophore simple, sans primaire, relié par s_3 à la tige E. Le bras h de J peut :

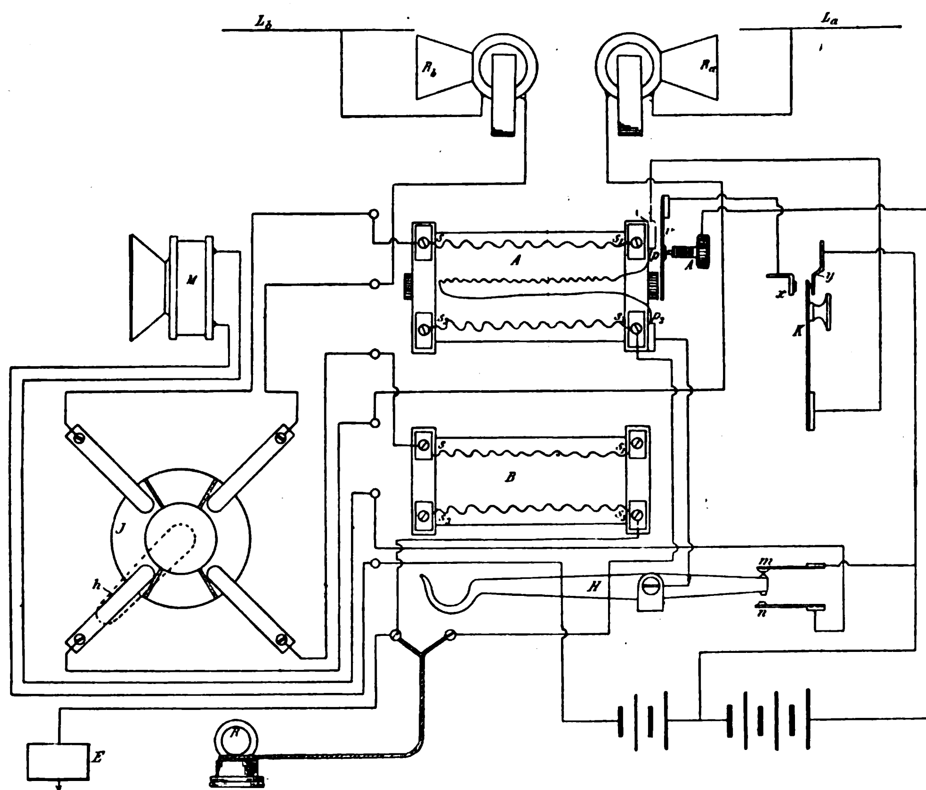


Fig. 2. — Téléphone duplex de la Phonophore C°.

1° relier A à la ligne L_a par R_a, qui peut alors communiquer par L_a, en même temps que L*b* peut appeler par R*b* et B. G. R.

Appareil à lecture directe pour la recherche des défauts dans les canalisations;

Par F. Charles Raphael [1].

Cet appareil est basé sur l'emploi du pont de Wheastone à la recherche des défauts dans les canalisations suivant la méthode indiquée par Murray.

La figure 1 représente le schéma des connexions de l'appareil et de la ligne à étudier.

Le pont une fois équilibré on a :

$$\frac{CA}{AM} = \frac{CF}{FM}$$

(1) *The Electrician* du 12 mars 1897, p. 653.

qu'on peut écrire :

$$\frac{CA}{AM + CA} = \frac{CF}{FM + CF}.$$

Soients : s la longueur du fil formant les branches de proportion du pont,

r la longueur de la partie CA,

l la longueur du câble à étudier,

et x la distance du défaut à la station;

l'égalité précédente conduit à :

$$\frac{r}{s} = \frac{x}{l}$$

c'est-à-dire que le défaut partage le câble dans le même rapport que le point A partage la partie du fil du pont comprise entre C et M.

Le point M est mobile le long de ce fil et le zéro de l'échelle est en C, la longueur CM représentant la longueur de la canalisation

avec une certaine unité, la longueur r figurera avec cette même unité la distance du

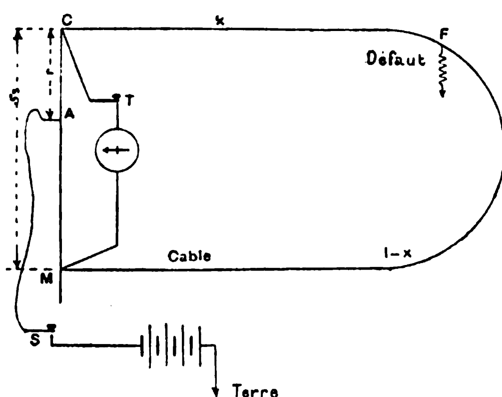


Fig. 1. — Schéma des connexions.

défaut à la station centrale où l'appareil est placé.

Les figures 2 et 3 représentent une élévation et un plan de l'appareil. Les bornes C et M portent un certain nombre de trous permettant d'y fixer directement les extrémités du câble à étudier quel que soit son diamètre.

La borne mobile M est donnée en détail sur la figure 4. La lame de bronze B est en connexion avec l'extrémité du fil tendu du pont; le contact pour une position quelconque de M se fait à l'aide de deux petits blocs dont la surface est platinée et qui sont portés par de petits ressorts. Le trait de repère tracé sur la pièce G est dans le même plan vertical que le bord de gauche du petit bloc de gauche de sorte que les surfaces de contact agissent comme un shunt du point de contact réel.

La valeur de la résistance de ce contact

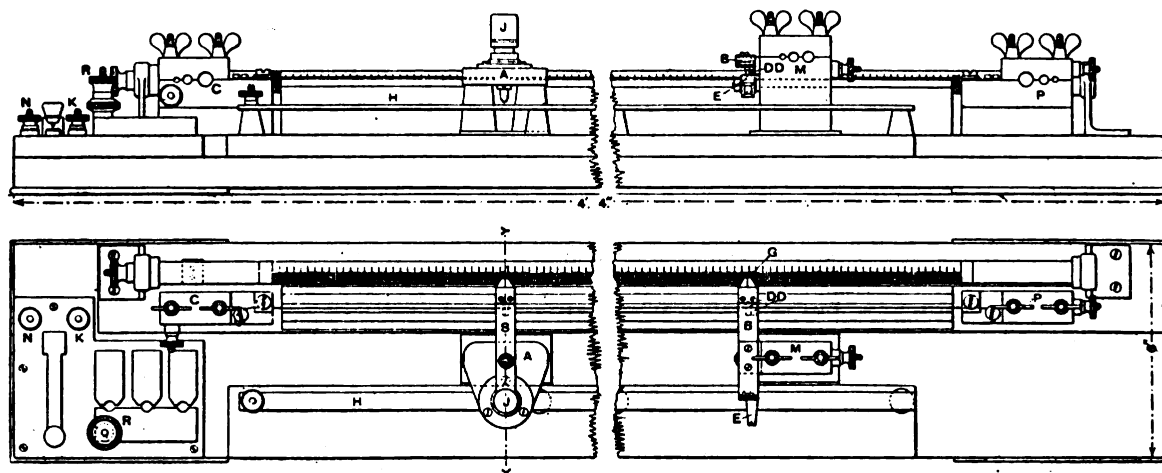


Fig. 2 et 3. — Élévation et plan de l'appareil.

est très faible et correspond environ à celle d'un millimètre du fil.

Une lame en ébonite E, mue par un bouton permet de relever un peu le ressort pour éviter les frottements des pièces D pendant le déplacement du curseur M.

Le curseur A est montré en détail sur la figure 5 qui représente une coupe de l'appareil suivant le plan xy. Le ressort S est très flexible de façon à éviter le martellement du fil.

La barre H sur laquelle se déplacent les deux curseurs A et M est reliée électriquement avec la batterie de piles.

En appuyant sur le bouton J, on établit d'abord le contact entre le ressort S et le fil, puis en appuyant plus fort, la communication électrique avec la barre H′ et la pile; l'opération inverse a lieu lorsqu'on cesse d'appuyer sur le bouton J.

L'échelle est la partie principale de l'instrument. C'est une barre de section carrée mobile autour de son axe et portant une graduation différente sur ses quatre faces. La

première comporte une division en millimètres sur une longueur d'un mètre, la seconde est graduée de deux en deux millimètres et comprend par suite 500 divisions, la troisième a 1 250 divisions et la quatrième 1 250. Comme la partie comprise

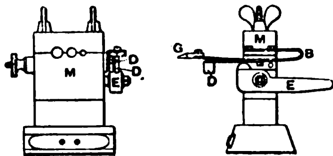


Fig. 4. — Détails de la borne M.

entre C et N doit représenter la longueur totale du circuit, dont il faut chercher un défaut on voit que la deuxième échelle servira pour des longueurs comprises entre 250 et 500 m, la troisième pour des longueurs comprises entre 1 250 et 2 500, etc.

L'instrument est disposé sur une table en

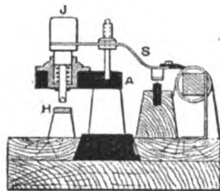


Fig. 5. — Détails du curseur A.

acajou et tous les isolants sont en ébonite. Cet appareil n'est pas transportable et est destiné à être établi à poste fixe dans la station centrale. Un appareil semblable mais de dimensions deux fois moindres pourrait être transporté facilement.

L'emploi de l'instrument doit être dirigé de la manière suivante :

On choisit d'abord l'échelle la plus convenable pour la longueur donnée de la canalisation et on place le curseur M de façon à ce que CM représente la longueur du câble.

On met l'un des pôles de la pile en communication avec la barre H et l'autre avec la terre ou avec l'enveloppe conductrice du câble. Le galvanomètre est disposé entre les bornes N et M et la borne K communique avec la borne C. On déplace ensuite le curseur A jusqu'à ce que l'équilibre du pont soit établi. La longueur CA donne alors la distance du défaut à l'usine si le câble a une section constante sur toute sa longueur, sinon l'appareil donne simplement la longueur équivalente qui permet également de déduire la distance du défaut à l'usine.

Avant chaque essai les contacts doivent être soigneusement nettoyés avec une feuille de papier ordinaire.

Ce pont à fil est également muni de trois bobines de résistances qu'on peut mettre en court-circuit à l'aide de clés qui permettent d'employer l'appareil pour mesurer des résistances ordinaires. Ces bobines sont placées entre la borne C et trois blocs marqués 0,1, 1 et 10 ohms. Pour ces mesures le curseur M n'est pas employé car on prend le fil CP tout entier, la résistance à mesurer est alors intercalée entre P et R, le galvanomètre entre P et N et la batterie entre R et H. La quatrième échelle porte les rapports de proportion des branches AC et CP.

Cet appareil a été construit par MM. Elliot frères, de Londres. J. R.

La réaction due aux courants de Foucault ;

Par Ch. Westphal [1].

L'étude de M. Ch. Westphal a pour but de rechercher quelle est l'influence des courants de Foucault dans les machines à courants alternatifs.

L'effet des courants parasites dans les pièces massives ou feuilletées des alternateurs et dans les transformateurs a été étudié souvent par l'analyse et vérifié par l'expérience. L'auteur cite l'ouvrage de M. Kiltler et les travaux de Ferraris sur le retard de phase du courant et d'effet des pertes d'énergie dans les transformateurs.

Ce dernier savant est le premier qui ait montré l'influence des courants parasites qui ont pour effet de diminuer le coefficient d'in-

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift* du 11 mars 1897.

duction mutuelle des deux enroulements d'un transformateur ou de l'induit et de l'inducteur d'un alternateur.

Cette étude a été reprise récemment par M. Steinmetz [1], qui a calculé comme le fait l'auteur, lequel ne paraît pas avoir connaissance de ces travaux, les ampèretours démagnétisants dus aux courants de Foucault dans un transformateur.

Soit une machine à courant alternatif dont l'induit est A et l'inducteur B (fig. 1); con-

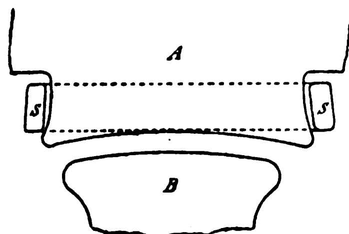


Fig. 1.

sidérons un tube de force dont la section est ds. Si nous désignons par B l'induction à un moment donné en un point quelconque de ce tube, la force électromotrice développée par le flux dans une section ds sera évidemment :

$$e = ds \frac{dB}{dt}.$$

Cette force électromotrice donnera lieu à un courant dont l'expression sera en désignant par P la résistance du circuit compris dans chaque section infiniment mince :

$$i = \frac{ds \frac{dB}{dt}}{\rho}.$$

Les pertes dues à l'effet Joule sont :

$$\rho i^2 = \frac{\left(ds \frac{dB}{dt}\right)^2}{\rho}.$$

Pour avoir les pertes correspondant à toute une section droite du circuit magnétique il suffira de multiplier l'expression précédente par le nombre n de tubes de forces traversant cette section, nombre défini par :

$$nds = S$$

S étant la section totale.

Les pertes dans chaque branche élémentaire du circuit magnétique en fer sont donc :

$$dA = n \frac{\left(ds \frac{dB}{dt}\right)^2}{\rho}$$

que l'on peut écrire en appelant F le flux total BS.

$$dA = dF \frac{\left(\frac{dB}{dt} ds\right)}{\rho} = idF.$$

Désignons maintenant par N le nombre de spires de la bobine induite S, par E la force électromotrice induite pour une excitation donnée et par e_0 la force électromotrice induite dans une seule spire de S, c'est-à-dire $\frac{dF}{dt}$.

Les pertes par courants de Foucault et pour un circuit magnétique sont :

$$A = \int_{t=0}^{t=1 \text{ seconde}} i \frac{dF}{dt} dt.$$

$$= \int_0^1 i\, e_0 dt$$

$$= \int_0^1 \frac{e_0^2}{r} dt$$

r étant la résistance équivalente aux courants de Foucault.

On en déduit :

$$A = \frac{e'^2_0}{r},$$

d'où :

$$\lambda' = \frac{e_0'}{r} = i',$$

$$i' = NI_0.$$

On a d'ailleurs :

$$e'_0 = \frac{E}{N},$$

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 97, 11 avril 1896.

Le courant d'induit équivalent aux courants parasites est donc bien :

$$I_0 = \frac{A}{E}$$

et par suite les ampèretours équivalent aux courants de Foucault sont NI_0.

L'influence de ces courants a donc pour effet de diminuer le courant watté pour une excitation et une différence de potentiel données. Ainsi si l'on représente sur la courbe I de la figure 2 la caractéristique sur résis-

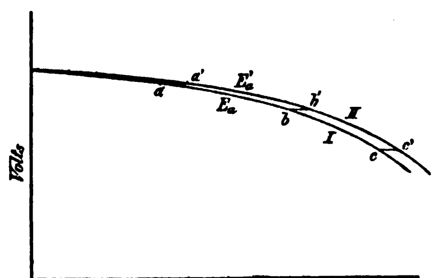


Fig. 2.

tance non inductive de la machine à excitation constante, la caractéristique sans tenir compte des courants parasites sera la courbe II obtenue, en portant à partir de la première des longueurs *aa'*, *bb'*... égales entre elles et égale à I_0.

Il est bon de faire remarquer que I_0 est de même phase que E_a. Le courant I_0 correspondant à la caractéristique en court-circuit a naturellement une valeur différente de la précédente et doit être déterminé par un essai spécial. J. R.

Abaque des consommations théoriques d'une machine à vapeur;

Par A. Rateau [1].

Dans le but de calculer rapidement le rendement d'une machine à vapeur — turbine ou machine à piston — l'auteur a construit un abaque qui non seulement rendra service aux ingénieurs ayant de tels calculs à effectuer, mais encore l'a conduit à une loi remarquable à laquelle satisfait la vapeur d'eau et de laquelle résulte une formule simple donnant avec beaucoup d'exactitude la consommation théorique en fonction des pressions initiale et finale de la vapeur.

Le nombre de kilogrammètres que peut donner 1 kg de vapeur dans une machine parfaite est donné par la formule connue

$$N = 425\left[r\frac{T_1 - T_2}{T_1} + \int_{T_1}^{T_2} C\,\frac{T - T_2}{T}\,dT\right],$$

où T_1 est la température absolue correspondant à la pression absolue d'amont P, T_2 celle qui correspond à la pression absolue d'aval *p*, C la chaleur spécifique du liquide à T°, *r* la chaleur de vaporisation à T_1°; la formule suppose en outre que le liquide est introduit dans la chaudière à la température T_2 et que la vapeur arrive à la machine exactement sèche et saturante.

Les expériences de Regnault fournissent toutes les données nécessaires au calcul pour des pressions comprises entre 0,01 kgr et 28,5 kg par cm², mais ce calcul est fort long; on le simplifie considérablement en écrivant la formule précédente sous la forme

$$N = 425\,\theta\left[\frac{r}{T_1} + \frac{\theta}{2T_1 - \theta + \varepsilon}\right],$$

où θ est la différence $T_1 - T_2$ et ε une quantité tantôt positive, tantôt négative dépendant de T_1 et de T_2

N étant ainsi déterminé, on en déduit pour la consommation de vapeur nécessaire pour un cheval-heure et exprimée en kilogrammes.

$$K = \frac{270\,000}{N} = \frac{635{,}3}{\theta\left[\frac{r}{T_1} + \frac{\theta}{2T_1 - \theta + \varepsilon}\right]}, \quad (1)$$

un cheval-heure valant 270000 kilogrammètres.

C'est cette formule que l'auteur a employée et bien qu'en négligeant ε l'erreur commise ne dépasse pas généralement 2 ou 3 mil-

---

[1] *Annales des Mines*, 9e série, t. XI, p. 242-250.

liėmes, il a tenu compte de ce terme à l'aide d'un développement en série.

En portant en abscisse la valeur de p et en ordonnée la valeur correspondante de P pour une valeur donnée de K, M. Rateau a obtenu des sortes de paraboles pour les courbes de même consommation ; ayant ensuite employé des coordonnées logarithmiques, c'est-à-dire porté log p en abscisse et log P en ordonnées, il a constaté que ces lignes se confondaient presque exactement avec des droites pour des valeurs de P comprises entre 0,5 et 25 kg et des valeurs de p comprises entre 0,03 et 3 kg ; les légers écarts observés dans certains cas paraissent devoir être attribués aux erreurs de dessin, aux erreurs de calcul et peut-être aussi aux petites erreurs des tables tirées des résultats expérimentaux de Regnault.

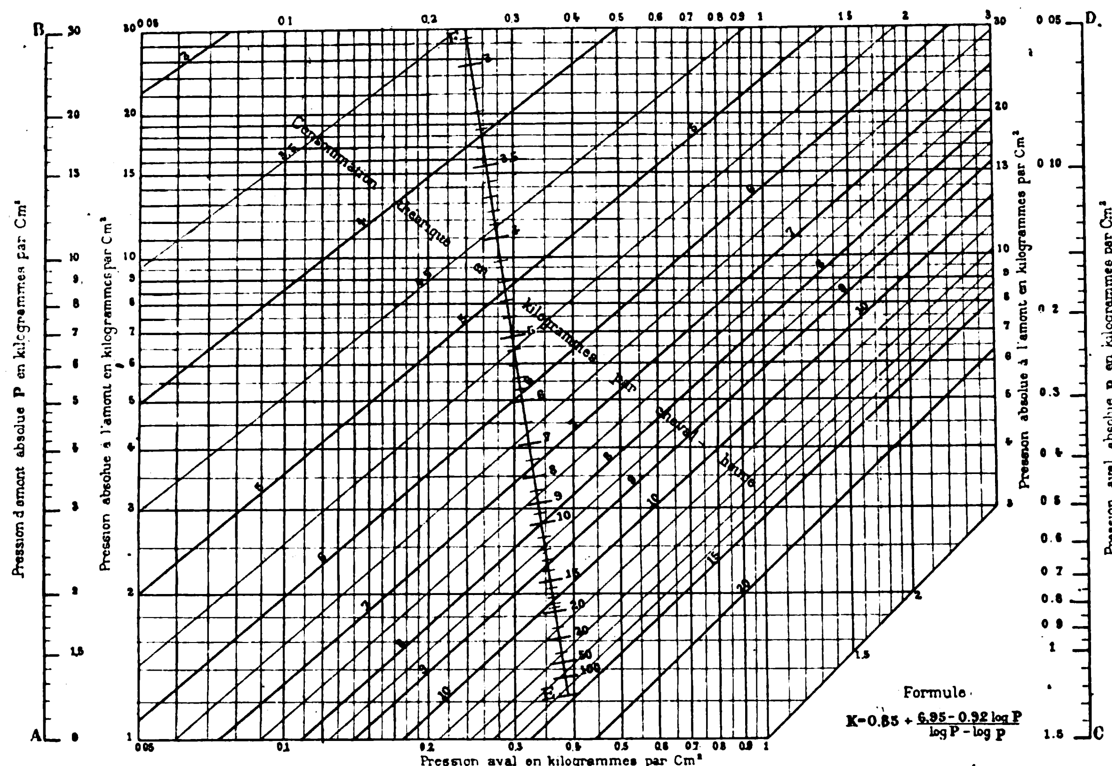


Fig. 1. — Abaques des consommations théoriques de vapeur sèche.

C'est dans ce système de coordonnées qu'a été construit l'un des abaques que représente la figure 1, reproduction photographique d'une planche publiée par les *Annales des mines*.

Pour se servir de cet abaque il faut faire abstraction des trois échelles linéaires AB, CD, EF qui constituent le deuxième abaque. La consommation K qui correspond à un groupe de valeurs de P et p se trouve en voyant comment est placé par rapport aux lignes obliques cotées lignes d'égales consommations, le point dont l'abscisse est p sur l'échelle inférieure, dont l'ordonnée est P sur les échelles latérales. Par interpolation graphique, soit à vue, soit même à l'aide d'un décimètre, on estime facilement K à quelques unités près sur la deuxième décimale. Ainsi, on trouve pour P = 5,4 kg et p = 1, 1,1 kg (absolu) que le point qui donne K tombe entre les lignes cotées 9 et 10, et tout près de cette dernière ; la consommation K correspondante est d'environ de 9,9 kg.

De cet abaque peuvent être déduites plusieurs remarques intéressantes. Sur les deux droites parallèles AB et CD sont portées des divisions

logarithmiques égales, mais de sens inverse, log P pour l'une et log p pour l'autre, à partir d'origines arbitrairement prises. De ce que sur le premier abaque les points d'égales consommations sont en ligne droite, il en résulte que si l'on joint par des lignes droites les points des deux échelles AB et CD qui correspondent à des valeurs de P et de p donnant la même consommation, toutes ces droites vont passer par un même point.

Le lieu de ces points pour diverses consommations est, en général, une courbe; ici, pour le cas de la vapeur d'eau, c'est une droite EF, résultat d'où l'on peut déduire par une démonstration que nous laissons de côté, que les droites d'égales consommations du premier abaque vont passer par un même point dont les coordonnées sont approximativement $P = p = 30\,000\,000$ kg.

Enfin, on peut observer que la loi de répartition des divisions de la droite EF qui correspondent aux diverses valeurs du nombre K de kilogrammes de vapeur consommés par cheval-heure est très simple. En effet si, à ces points de division, on élève sur EF des perpendiculaires proportionnelles à la valeur de K correspondante, on trouve pour le lieu de leurs extrémités une hyperbole équilatère; l'une des asymptotes de cette hyperbole est évidemment la perpendiculaire à EF, menée au point E milieu des droites qui réunissent les points marqués du même chiffre sur les échelles P et p, car ce point correspond à la consommation infinie; quant à l'autre asymptote, celle qui est parallèle à EF, elle se trouve à une distance approximativement égale à 0,4 exprimée en mêmes unités que K. Par conséquent, les distances des divisions de EF au point E sont inversement proportionnelles à K—0,40.

Ces trois remarques permettent d'obtenir une formule simple donnant K en fonction des pressions et dès lors plus commode pour le calcul que la formule (1) dont est parti l'auteur. En effet de ce que sur le premier abaque les lignes d'égales consommations sont des droites, on déduit que les pressions P et p correspondant à une même valeur de K sont liées par une relation de la forme

$$ap = P^b$$

Des deux autres remarques on déduit la forme de a et b en fonction de K et d'après le graphique, on trouve

$$\log a = \frac{6{,}95}{K - 0{,}85}$$

$$b = 1 + \frac{0{,}92}{K - 0{,}85},$$

et on tire de ces trois dernières relations

$$K = 0{,}85 + \frac{6{,}95 - 0{,}92 \log P}{\log P - \log p},$$

formule qui, comme l'auteur l'a constaté par de nombreux exemples, s'accorde fort bien et dans une grande étendue avec les résultats tirés des tables de Regnault et peut être facilement utilisée pour le calcul de K à défaut d'abaque.

D'ailleurs les trois échelles AB, CD et EF forment un second abaque. Les points P, p et K des trois échelles qui se correspondent sont en ligne droite. Par conséquent, pour trouver K, il faut tirer une ligne droite joignant le point de l'échelle AB, à gauche, qui marque la pression P, à celui de l'échelle CD, à droite, qui marque p. Cette ligne droite coupe l'échelle oblique EF au point dont la cote, estimée à vue, donne K.

J. B.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur la loi de la décharge dans l'air de l'uranium électrisé;

Par Henri BECQUEREL [1]

« Dans les recherches dont j'ai communiqué à l'Académie les principaux résultats, j'ai montré que, par un effet du rayonne-

(1) *Comptes Rendus*, t. CXXIV, p. 800, séance du 12 avril.

ment qui lui est propre, l'uranium métallique ne conserve pas une charge électrique qui lui est communiquée.

» La décharge se produit par l'air ou par le gaz ambiant, qui paraît être un intermédiaire nécessaire. Lorsqu'on dispose dans le vide une boule d'uranium métallique convenablement isolée et chargée d'électricité, la déperdition spontanée s'annule ou du moins devient l'ordre de grandeur de la déperdition par les supports.

» Je communiquerai ultérieurement les résultats obtenus dans divers gaz et à diverses pressions. J'indiquerai seulement dans la présente note la loi de déperdition de l'électricité par l'uranium, en fonction du temps, et du potentiel des corps électrisés.

» Dans une précédente communication (¹), j'ai déjà indiqué que, pour les faibles potentiels, la fonction qui lie le potentiel et le temps était analogue à celle qui exprime le refroidissement des corps, c'est-à-dire que la vitesse de chute du potentiel, $-\frac{dV}{dt}$ était sensiblement proportionnelle au potentiel V; au contraire pour les potentiels élevés la valeur de $\frac{dV}{dt}$ augmente très lentement avec le potentiel et tend vers une constante. Les expériences présentes montrent comment se concilient ces deux lois limites.

» Les nombres qui suivent sont relatifs à la variation spontanée, avec le temps, du potentiel d'une sphère d'uranium métallique, de 13,7 mm de diamètre, isolée, et en relation avec l'aiguille d'un électomètre à quadrants, isolé par de la paraffine.

» La quantité d'électricité $\frac{dQ}{dt} = C\frac{dV}{dt}$ qu'un système électrisé perd en une seconde est à la fois fonction de la capacité C et de la vitesse de chute de potentiel; aussi, pour que les variations du potentiel mesurent le débit d'électricité, est-il nécessaire que la capacité du système reste constante.

» Cette condition est remplie par l'aiguille de l'électromètre, lorsque le déplacement angulaire de celle-ci est proportionnel à son potentiel, et lorsque les potentiels des quadrants restent constants; il est facile de le démontrer. Mais si d'une série à une autre on fait varier la charge des quadrants pour faire varier la sensibilité de l'instrument, la capacité de l'aiguille change, et les résultats obtenus dans les mesures ne sont plus directement comparables.

» Ces diverses conditions et, en particulier, la difficulté, soit de maintenir suffisamment constantes les faibles capacités des systèmes étudiés, soit de mesurer ces capacités, ont rendu les mesures assez délicates. On a représenté graphiquement les résultats obtenus, et on a tracé des courbes moyennes qui éliminent en partie les erreurs accidentelles dues aux imperfections de l'électromètre.

» L'isolement électrique n'étant pas complet on a étudié séparément la déperdition par les supports, et la vitesse de déperdition par cette cause a été retranchée de la vitesse observée pour avoir l'effet dû à l'uranium.

» Les piles qui ont servi à graduer l'instrument étaient des piles à zinc, cuivre, eau et glycérine, montées depuis plusieurs années; chaque élément valait, en moyenne, 0,93 volt. Les nombres suivants sont donnés en prenant ces éléments de pile pour unité de potentiel.

» Avec une première disposition, les quadrants étant chargés par une pile de 64 éléments dont le milieu était à la terre, on a eu les nombres suivants qui résument de nombreuses mesures :

Potentiels.	Chute de potentiel en une seconde	
	observée.	corrigée.
35,25	0,1940	0,187
32,15	0,1884	0,182
29,0	0,1843	0,179
27,4	0,1770	0,175
21,2	0,1670	0,164
17,8	0,1615	0,159
14.5	0,1535	0,152
11,32	0,1384	0,137
8,12	0,1191	0,118
5,70	0,1018	0,101
4,05	0,0880	0,088
2,43	0,0609	0,061
1,20	0,0340	0,034

(¹) *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 514, 13 mars 1897.

» Une seconde série a été faite dans des conditions un peu différentes en chargeant les quadrants avec une pile de 8 éléments, dont le milieu était à la terre. La sensibilité étant moindre, on a eu des déviations de l'aiguille dans les mêmes limites que les précédentes, mais pour des potentiels plus élevés. Les résultats obtenus sont résumés dans les nombres suivants :

Potentiels.	Chute de potentiel en une seconde observée.	corrigée.
227	0,2778	0,233
206,5	0,2744	0,233
175.5	0,2673	0,232
145	0,2592	0,230
114	0,2470	0,224
93,8	0,2376	0,219
72,6	0,2253	0,211
62,3	0,2188	0,206
52	0.2103	0,199
36,5	0,1929	0,185
26,2	0,1754	0,170

» Ces nombres sont très sensiblement représentés dans les deux séries par l'expression

$$\frac{dV}{dt}\left(a+\frac{b}{V}\right)=-1.$$

» On a trouvé, pour a et b, les valeurs $a=4{,}53$ et $b=31$ dans la première série, et $a=4{,}06$, $b=47$ dans la seconde.

» Une autre série, qui n'est pas rapportée ici, avait donné $a=4{,}6$ et $b=20$. Les divergences entre ces nombres sont dues en partie aux erreurs d'expérience ; le coefficient a est mieux déterminé que b.

» Il est facile de voir que les coefficients a et b doivent être proportionnels à la capacité du système ; en effet, le débit $-C\frac{dV}{dt}$ d'électricité par la surface de la sphère doit être fonction seulement de la différence du potentiel entre cette sphère et le milieu ambiant ; on doit donc avoir, pour des systèmes de capacités C et C′,

$$C\left(\frac{dV}{dt}\right)=C'\left(\frac{dV}{dt}\right)',$$

d'où l'on déduit immédiatement :

$$\frac{a}{C}=\frac{a'}{C'}=\alpha \quad\text{et}\quad \frac{b}{C}=\frac{b'}{C'}=\beta,$$

α et β étant des valeurs qui dépendent des surfaces d'émission et du milieu ambiant.

» L'expérience prouve, du reste, cette proportionnalité.

» En adjoignant à l'aiguille de l'électromètre une sphère de 8,11 cm de rayon, la capacité a été augmentée dans le rapport de 0,33 à 1, et la valeur $\frac{dV}{dt}$ a été réduite à 0,328 de sa valeur.

» L'expression précédente montre que, si le potentiel V est petit, le terme $\frac{b}{V}$ est grand par rapport à a, et que l'on tend vers l'expression

$$\frac{1}{V}\frac{dV}{dt}=-\frac{1}{b},$$

tandis que si V est très grand, le terme $\frac{b}{V}$ devient très petit et l'on a sensiblement

$$\frac{dV}{dt}=-\frac{1}{a},$$

ainsi que le prouve l'expérience.

» On voit aussi que les grandeurs absolues des potentiels pour lesquelles le terme $\frac{b}{V}$ ou $\frac{\beta C}{V}$ est grand ou petit par rapport au coefficient αC, varient comme la capacité du système.

» A l'occasion de cette note, je signalerai à l'Académie que les sels d'urane que je conserve depuis plus d'un an, à l'abri de tout rayonnement connu, continuent à émettre avec une intensité à peine décroissante des radiations qui donnent des impressions photographiques au travers des corps opaques. »

Expériences faites sur un nouvel appareil cathodique, générateurs de rayons X et à plusieurs ampoules greffées sur un même circuit gazeux ;

Par Foveau de Courmelles et G. Seguy [1],

« L'appareil dû à l'un de nous se com-

[1] *Comptes Rendus*, t. CXXIV, p. 814, séance du 12 avril 1897.

pose de deux tubes à vide reliés à un réservoir sphérique; dans chacun des tubes à vide est une anode et une anticathode, toutes dans le même axe. Le rayonnement anodique est dirigé vers le bas.

» Cet appareil présente plusieurs propriétés intéressantes :

» 1° Placé sur le vide et observant les effets lumineux, fluorescents et cathodiques, on constate *que la pression intérieure dans le tube à vide n'est pas égale en tous les points;* que vers l'extrémité, c'est-à-dire en une des ampoules réunies à la cathode, le vide est beaucoup plus complet qu'à l'autre extrémité du même circuit gazeux, et que les molécules qui peuvent rester dans ces milieux très raréfiés sont chassées avec une extrême violence vers le point le plus extrême du circuit de l'appareil.

» On constate ces phénomènes en réunissant en tension les deux ampoules placées sur le même circuit gazeux et reliées au courant électrique d'une bobine d'induction dont le courant est ainsi en court-circuit.

» Les rayons cathodiques et les rayons de Rœntgen ne se forment que du côté de la cathode première et, de l'autre côté, de belles stratifications violettes se produisent, sans aucune fluorescence du verre. Ce qui permet de conclure à l'inégalité de raréfaction ou plutôt à l'inégalité de répartition dans les deux ampoules.

» 2° Si l'on alimente avec le courant et indifféremment l'une ou l'autre ampoule, on a des rayons cathodiques et de Rœntgen dans l'une ou l'autre ampoule, à volonté, avec stratifications dans l'autre.

» 3° Les deux ampoules réunies à deux bobines différentes donnent également des rayons X.

» Aussi, on peut en conclure que l'*inégale répartition de la matière se produit lors du passage du courant.*

» L'appareil à vide est également alors parcouru par des stratifications.

» 4° L'appareil étant toujours relié à l'appareil à faire le vide, et les ampoules placées en tension, on constate qu'à une raréfaction très considérable, très résistante au courant, il se produit des deux côtés des rayons X, mais en quantités inégales. L'ampoule ayant la cathode de la bobine donne beaucoup plus que l'autre simplement reliée à celle-ci.

» 5° Les ampoules montées en quantité donnent, en la moins résistante, des rayons X et, en l'autre, de rares éclairs.

» Cet ensemble de deux ampoules réunies, qui en pourrait d'ailleurs comprendre un plus grand nombre, a l'avantage de permettre l'obtention simultanée, soit de plusieurs images d'un objet différent, soit de deux images d'un même objet, ce qui, en stéréoscopie, peut rendre de grands services.

» En outre, on a quelques données mathématiques invariables comme la distance des deux anodes, le point d'intersection de ces anodes prolongées et où l'on peut placer le corps à radiographier, la distance de ce point à la plaque, et ainsi l'on peut déterminer deux et même plusieurs triangles où, au moyen de ces données, on pourra calculer la position exacte du corps étranger dont il s'agit de déterminer la situation dans un organisme. Nous retombons ainsi, mais d'une manière plus simple, dans la solution de MM. Buguet et Gascard, soumise l'an dernier à l'Académie.

» En terminant, nous signalerons la rapidité et la netteté des épreuves obtenues avec ce tube à vide particulier et dû à l'un de nous. »

Réfractomètre interférentiel pour les ondes électriques;

Par O. Wiedeburg [1].

Les appareils employés par M. Wiedeburg sont identiques à ceux qui ont été construits par M. Righi [2]; d'après les dimensions adoptées, la longueur des ondes doit être de 10,6 cm.

---

[1] *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 497-523.

[2] *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 350 et suiv.

Au préalable, M. Wiedeburg a effectué quelques mesures d'indice de réfraction par la méthode du prisme. Ce prisme était constitué par une masse de colophane coulée dans une caisse en bois; ses arêtes avaient une longueur de 30 cm; le triangle de base, une hauteur de 51 cm et une base de 24,6 cm; l'angle réfringent α était de 27°51′. On détermine l'angle d'incidence i, la déviation δ et on calcule l'angle d'émergence i' par la relation :

$$i' = \delta + \alpha - i.$$

L'indice est ensuite donné par la formule connue :

$$n^2 = \frac{\sin^2 i + 2 \cos \alpha \sin i \sin i' + \sin^2 i'}{\sin^2 \alpha}.$$

On détermine la direction du rayon réfracté en prenant la moyenne des deux positions dans lesquelles le résonnateur commence à donner des étincelles; la distance entre ces deux positions dépend naturellement de la sensibilité du résonnateur et de l'intensité des ondes. Cependant les nombres obtenus avec différents résonnateurs présentent une concordance satisfaisante, par exemple 1,651, 1,651, 1,667. L'auteur admet comme valeur la plus probable de l'indice de la colophane pour les ondes de 10 cm,

$$n = 1{,}656,$$

qui concorde avec la valeur trouvée par Mazzotto, 1,658, pour des ondes un peu plus longues.

Dans les expériences effectuées avec le réfractomètre interférentiel, les ondes émises par l'excitateur E (fig. 1), traversent une lame diélectrique (en paraffine), inclinée à 45° sur leur direction; ils tombent ensuite sur deux miroirs plans, placés normalement au faisceau, leur bord commun se trouvant sur l'axe du faisceau. L'un de ces miroirs F est fixe, l'autre B peut se déplacer parallèlement à lui-même et une graduation permet de mesurer ces déplacements. Après s'être réfléchies sur ces deux miroirs, les ondes électriques reviennent en arrière suivant la même direction et après s'être réfléchies encore sur la face postérieure de la lame W arrivent au résonnateur R.

Lorsque les deux miroirs F et B sont dans

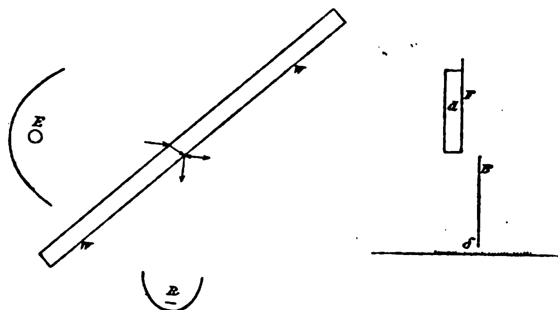


Fig. 1. — Réfractomètre interférentiel pour les ondes électriques.

le même plan, les deux parties du faisceau réfléchies respectivement sur ces deux miroirs ne présentent pas de différence de marche. Si on place devant le miroir F une lame diélectrique, le faisceau réfléchi sur F éprouve un retard et pour compenser ce retard, il faut reculer le miroir mobile B. Si on place la lame devant le miroir B, il faut au contraire avancer ce miroir pour rétablir la concordance. De l'épaisseur e de la lame diélectrique et du déplacement δ du miroir on peut déduire l'indice n de la lame.

Le calcul se conduit comme dans le cas des anneaux de Newton en optique. En appelant :

η' la différence de phase, $\eta' = 2\pi \frac{2e}{\gamma'}$;

r le pouvoir réflecteur du diélectrique;

η la différence de phase $\eta = 2\pi \frac{2(e+\delta)}{\lambda'}$

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{(1 - r^2) \sin \eta'}{(1 + r^2) \cos \eta' - 2r}$$

d'où, en adoptant la formule de Fresnel,

$$r = \frac{n-1}{n+1}$$

on tire :

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{2 \sin \eta'}{(n^2+1) \cos \eta' + n^2 - 1}.$$

Cette formule se transforme aisément dans les suivantes :

$$\operatorname{tg} r_1 = \frac{\frac{2}{n} \operatorname{tg} \frac{r_1'}{2}}{1 - \frac{1}{n^2} \operatorname{tg}^2 \frac{r_1'}{2}}$$

ou

$$\operatorname{tg} \frac{r_1}{2} = \frac{1}{n} \operatorname{tg} \frac{r_1'}{2}$$

c'est-à-dire

$$\operatorname{tg} 2\pi \frac{e + \delta}{\lambda} = \frac{1}{n} \operatorname{tg} 2\pi \frac{e}{\lambda}, \qquad (1)$$

équation transcendante entre e, δ, λ et n.

L'inconnue n se calculera par approximations successives en prenant comme première valeur $n = \frac{d + \delta}{d}$.

Le calcul de la formule précédente suppose que les ondes émises par l'excitateur ne sont pas amorties, et que le résonnateur n'influe pas sur la longueur des ondes observées. On sait que cette hypothèse ne correspond pas à la réalité; mais en faisant l'hypothèse inverse on obtient la même formule que ci-dessus, à cela près que λ représente alors la longueur d'onde propre au résonnateur.

En fait, ni l'une ni l'autre de ces formules ne sont rigoureuses; il faudrait considérer une infinité d'ondes émises par l'excitateur, mais amorties, ayant une période T et qui toutes agissent sur le résonnateur qui a lui-même une période et un amortissement propres. Le calcul serait extrêmement compliqué; le plus simple est d'examiner dans quelle mesure une formule, telle que la formule (1), est susceptible de représenter les résultats des expériences.

La détermination expérimentale des maxima se fait comme on l'a indiqué dans la méthode du prisme. On détermine les deux positions du miroir mobile pour lesquelles le résonnateur commence à donner un flux continu d'étincelles et on prend la moyenne. A cause de l'amortissement ce procédé n'est pas absolument rigoureux; cependant l'expérience le justifie, car les positions ainsi déterminées ne dépendent pas de la différence entre les deux lectures extrêmes. En fait, lorsque les deux miroirs sont dans le même plan, on n'observe pas de maximum, le déplacement peut atteindre 10 mm. Cette perturbation provient du défaut de symétrie du faisceau dans lequel les rayons ne sont pas absolument parallèles entre eux et par suite il se produit entre les diverses régions du faisceau des différences de phase lors des réflexions sur la lame inclinée.

La longueur d'onde mesurée dépend des dimensions des résonnateurs. Deux dimensions ont été essayées, 40 mm et 50 mm; d'après Righi, au résonnateur de 40 mm correspond une longueur d'onde de 106 mm. M. Wiedeburg a trouvé 108,9 mm pour le résonnateur de 50 mm et 101,6 mm pour celui de 40 mm.

Les mesures ont porté sur la paraffine et sur le verre à glaces. L'indice de la paraffine a été trouvé égal 1,418 et celui du verre à 2,63.

Si on adopte la valeur $n = 1{,}418$ pour l'indice de la paraffine et qu'on calcule δ d'après la formule (1), les nombres calculés ne sont pas d'accord avec les nombres observés. De même dans le cas du verre on trouve que δ ne croît pas périodiquement quand e augmente.

Cette discordance provient sans doute de l'amortissement des ondes et l'allure des phénomènes semble indiquer qu'il faudrait introduire dans la formule un terme exponentiel pour tenir compte de l'amortissement.

M. L.

Phénomènes de polarisation dans les tubes de Hittorf.

Par C.-A. Mebius [1].

Divers expérimentateurs ont signalé le fait que les gaz raréfiés traversés par un courant électrique acquièrent la propriété de laisser

[1] *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 695-715.

passer un autre courant sous une force électromotrice relativement faible.

Les premières expériences de M. Mebius ont été effectuées avec un appareil analogue à celui de Hittorf; le courant traverse un tube renfermant de l'oxygène raréfié. Deux fils de platine ou sondes placées dans un même plan perpendiculaire à la direction du courant principal servent d'électrodes au second courant : l'une des électrodes principales est mobile, de manière qu'on puisse amener dans le plan des sondes successivement les diverses régions de la décharge : un galvanomètre indique un courant dont 0,08 seulement proviennent de la dérivation du courant principal.

Dans les expériences définitives, M. Mebius a préféré placer les sondes dans des sections transversales différentes et même dans la plupart des cas, il a rattaché l'une des extrémités du circuit dérivé au circuit principal en dehors du tube.

Description de l'appareil. — Le circuit principal (fig. 1) renferme une batterie d'ac-

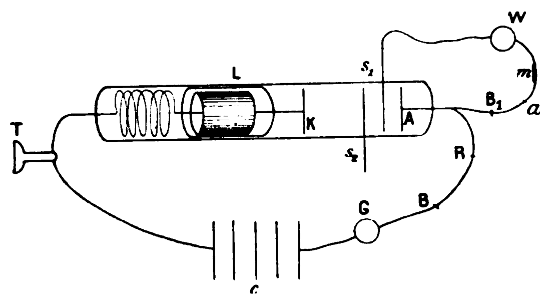


Fig. 1.

cumulateurs c de 1000 éléments, un galvanomètre G, un interrupteur B, deux rhéostats R, formés par des tubes qui sont remplis d'une dissolution d'iodure de cadmium dans l'alcool amylique, le tube de Hittorf L et un téléphone T. L'une des sondes s_1, s_2 est reliée à un point voisin de l'anode A par un circuit dérivé qui comprend un interrupteur B_1, une batterie d'éléments Clark cl, un rhéostat m semblable aux précédents et un galvanomètre W très sensible.

La cathode K est mobile : elle est fixée à une pièce de verre qui renferme un cylindre en fer et qu'on fait mouvoir à l'aide d'un aimant : de même que l'anode, elle est formée par un disque en platine.

Les sondes s_1 et s_2 sont scellées dans les parois du tube et elles pénètrent perpendiculairement à l'axe, jusqu'au voisinage de la paroi opposée. Le tube renferme de l'air desséché par l'anhydride phosphorique et débarrassé des vapeurs de mercure par la méthode de Cornu. Tout l'appareil est soigneusement isolé.

Polarisation des sondes. — La chute de potentiel entre les extrémités du circuit dérivé est calculée d'après l'intensité i du courant et la résistance r du circuit. Chaque expérience comporte trois séries de mesures, effectuées avec des intensités du courant principal voisines de 250, 500 et 1000. 10^{-6} ampères.

La différence de potentiel entre les deux sondes, ou entre l'une des sondes et l'anode diminue quand l'intensité I du courant principal augmente et on peut représenter cette différence de potentiel par une fonction linéaire de l'intensité $\Delta V = a^2 - b^2 I$.

Lorsqu'on compense la chute de potentiel dans le circuit dérivé au moyen des éléments Clark, le potentiel de la sonde est égal au potentiel du gaz qui l'entoure immédiatement; en effet, les expériences démontrent qu'un courant transversal peut passer d'une sonde à une autre à travers le gaz, si faible que soit la force électromotrice. Si on mesure la différence de potentiel entre la sonde et l'anode successivement dans le circuit dérivé et dans le circuit principal, on trouve des valeurs notablement différentes : on en conclut qu'au voisinage immédiat de l'anode se produit une chute brusque de potentiel.

Quand une sonde sert d'anode, c'est-à-dire quand un courant passe de la sonde au gaz, son potentiel est plus élevé que celui du gaz; la différence est petite si l'intensité du courant est petite ; mais elle croît en même temps que cette intensité ; au contraire elle diminue

un peu quand on augmente l'intensité du courant principal.

Une sonde qui fonctionne comme cathode a au contraire un potentiel moins élevé que celui du gaz voisin ; la différence croît rapidement avec l'intensité du courant, beaucoup plus rapidement que la précédente : elle est beaucoup plus grande quand l'intensité du courant principal est faible.

La chute de potentiel à l'anode, quand aucun courant ne passe dans le circuit dérivé, est d'environ 23,5 volts, dans l'air à la pression de 0,5 mm, quand l'anode se trouve entourée par la lumière positive ou par la lumière négative ; cette chute de potentiel est celle que M. Mebius appelle chute normale. Cette chute normale, d'après l'ensemble des mesures, doit être considérée comme une valeur maxima de la polarisation.

La chute de potentiel à la cathode est la même quand la sonde se trouve dans la région obscure de la décharge ou bien dans la lumière positive : mais la chute à l'anode est notablement plus petite dans le premier cas que dans le second. A la cathode, la chute de potentiel croît avec l'intensité du courant, beaucoup plus lentement quand la sonde se trouve dans la lueur négative au lieu d'être dans la lumière positive ou dans l'intervalle obscur ; à l'anode, la variation est la même dans les différents cas et la chute du potentiel paraît tendre vers la même valeur limite.

Si la sonde se trouve dans la région cathodique obscure de la décharge, on observe les phénomènes suivants :

La chute de potentiel à la cathode, surtout quand le courant est faible, est plus grande, pour une valeur déterminée de l'intensité, si la sonde se trouve dans l'intervalle cathodique obscur que dans toute autre région de la décharge.

La chute de potentiel anodique est plus grande dans l'intervalle cathodique obscur que dans toute autre région. Pour une même intensité du courant (ne dépassant pas $14 \cdot 10^{-9}$ ampère), elle est plus grande que la chute cathodique, contrairement à ce qui se passe dans les autres régions. Elle atteint une valeur maxima de 200 volts environ pour une intensité voisine de 10^{-5} ampère et décroît un peu quand l'intensité continue à croître au delà de cette valeur.

Chutes de potentiel normales. — Comme il a été dit plus haut, la chute de potentiel anodique normale est d'environ 23,5 volts dans la lumière positive et paraît indépendante de l'intensité du courant.

La chute de potentiel cathodique normale a aussi été mesurée. On approche l'électrode mobile de la sonde S_2 aussi près que possible, sans que cependant il y ait contact et on change les liaisons de manière que l'électrode mobile soit l'anode ; la lumière positive se réduit à un léger voile qui entoure la sonde. La sonde forme l'anode du circuit dérivé, dans lequel on intercale des éléments Clark en nombre considérable pour faire passer le courant tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre ; par interpolation, on calcule ce que serait la différence de potentiel pour un courant nul. On trouve ainsi un nombre voisin de 19 volts (pression de l'air = 0,557 mm). Dans l'intervalle obscur, à la pression de 0,276 mm, on trouve :

4,75 volts pour un courant de $438,5 \cdot 10^{-6}$ ampères.
1,71 » » de $262,8 \cdot 10^{-6}$ »

M. L.

Différences de potentiel entre métaux et électrolytes ;

Par O. Wiedeburg [1].

Dans ces dernières années, on a contesté à diverses reprises que la théorie des phénomènes électrocapillaires, d'après Lippmann et Helmholtz, pût permettre de calculer les valeurs exactes des différences électriques entre les métaux et les électrolytes. Les raisons alléguées ne sont pas décisives et la théorie en question peut conduire à des résul-

---

[1] *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 742-750.

tats très exacts quand on l'applique convenablement.

Par des considérations qui ne relèvent que de l'énergétique, on trouve que la tension superficielle T d'une électrode de mercure est liée à la différence de potentiel φ par la relation :

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = -e.$$

La grandeur e a les dimensions d'une quantité d'électricité divisée par une surface ; d'après les idées de Lippmann et d'Helmholtz, elle représente la densité superficielle de l'électricité liée aux ions de l'électrolyte et faisant face au métal. Helmholtz admet que e doit s'annuler en même temps que φ ; Lippmann admet en outre que e est proportionnel à φ.

$$e = 2k\varphi.$$

Il faut bien remarquer que l'analogie entre l'électrode polarisée et un condensateur de capacité $2k$ n'existe que dans la formule.

Dans l'équation intégrée,

$$T = T_m - k\varphi^2$$

où T_m représente la valeur maximum de la tension superficielle, il faut remplacer la quantité φ qui n'est pas directement mesurable par une autre quantité accessible à l'expérience.

Soient E la force électromotrice polarisante, φ_n la différence de potentiel constante et le mercure de la grande électrode et l'électrolyte (prise positivement dans le sens du mercure vers l'électrolyte tandis que φ est compté dans le sens opposé), I l'intensité du courant et R la résistance totale du circuit. D'après la loi d'Ohm, on aura :

$$\varphi = E - \varphi_n - IR,$$

ou :

$$T = T_m - k(E - \varphi_n - IR)^2.$$

Lorsque l'équilibre est atteint de manière qu'aucun courant ne passe et dans ce cas seulement, le maximum de la tension superficielle est atteint pour :

$$E_m = \varphi_n.$$

Autrement on a :

$$E_m = \varphi_n + I_m R.$$

La correction $I_m R$ qu'il faut, en général, apporter à la valeur observée E_m, pour en déduire la valeur cherchée φ_n, n'a jamais été effectuée, quoiqu'elle ne soit pas négligeable *a priori*.

En fait, les expériences effectuées par l'auteur, d'accord avec celles de Paschen et de Meyer, ont donné pour la courbe qui représente T en fonction de E une forme s'écartant sensiblement de la parabole théorique.

Lorsque l'électrolyte n'est pas simple, mais est formé d'un mélange, ce qui, au fond, est le cas général quand le dissolvant prend part aux phénomènes), les conditions sont différentes. D'après M. Wiedeburg, il se produit *toujours*, c'est-à-dire pour *toutes* les valeurs de E, une séparation partielle des deux électrolytes et les ions des deux électrolytes prennent part à la polarisation. Le rapport des deux nombres d'ions dépend de la stabilité relative des électrolytes. Il en résulte qu'au voisinage du maximum, l'électrolyte le moins stable laisse passer un courant notable tandis que l'autre électrolyte n'est encore que polarisé; par conséquent si on ne tient pas compte du terme $I_m R$ on trouve pour φ_n une valeur trop grande.

En réalité, les résultats des expériences sur lesquelles on s'est appuyé pour attaquer la théorie de Lippmann s'écartent des résultats théoriques dans le sens indiqué. Pour les solutions de sulfocyanure de potassium, d'iodure de potassium, de sulfure de sodium, Rothmund et Meyer ont trouvé des valeurs de φ_n plus grandes qu'on ne les calcule d'après la force électromotrice d'un élément composé avec ces solutions, par exemple :


Hg | KCl | KCAzS | Hg.

Meyer conclut de ces résultats à l'inexactitude de la théorie de Lippmann. Mais il faut

remarquer que dans les expériences faites avec les solutions précitées, il se forme des sels de mercure complexes et que par suite les phénomènes sont anormaux, ainsi qu'il résulte des expériences de Bolton. Si les idées avancées par M. Wiedeburg sont exactes, on doit, en empêchant autant que possible la formation des sels de mercure, obtenir une courbe se rapprochant de la parabole théorique.

Une autre circonstance influe encore sur la forme de la courbe. Lorsque la polarisation a atteint son maximum, la tension superficielle devient constante et l'arc de parabole se raccorde à une droite parallèle à l'axe des abscisses. Une polarisation primitivement anodique $\varphi = -\varphi_n$ passe par o, devient cathodique et atteint une valeur $\varphi = +\varphi_m$: le maximum de polarisation est égal à la différence $\varphi_n + \varphi_m$.

La valeur de φ_n détermine la longueur de la branche ascendante, φ_m la longueur de la branche descendante de la courbe. Les données expérimentales qu'on possède actuellement ne permettent pas de décider si ces deux valeurs caractéristiques sont indépendantes ou non.

En résumé, la théorie de Lippmann-Helmholtz, sous sa forme primitive représentée par l'équation :

$$T = T_m - k(E - \varphi)^2$$

ne suffit pas pour expliquer tous les faits, mais il n'est pas démontré qu'elle ne puisse le faire, si on la complète comme on l'a vu ci-dessus.

La théorie rivale de Warburg ne donne aucune formule qui relie la constante capillaire à la force électromotrice de polarisation. D'autre part, l'emploi des électrodes à écoulement suffit à réduire beaucoup les écarts signalés plus haut et dans ces expériences s'éliminent justement les termes sur lesquels la théorie de Warburg ne fait aucune hypothèse et sur lesquels au contraire la théorie de Lippmann s'exprime nettement; il est donc difficile dans ces conditions de comparer les deux théories.

D'après Nernst, la tension superficielle d'une électrode de mercure dépend uniquement de la différence de potentiel, laquelle est déterminée par la concentration des ions Hg à la cathode, suivant la formule logarithmique de Nernst. La tension superficielle est alors liée à la différence de potentiel φ_n par l'équation :

$$T = T_m - k\varphi_n^2.$$

D'après les mesures faites jusqu'à présent, les constantes T_m et k paraissent être indépendantes de la nature de la dissolution ; T_n ne dépendrait que de φ_n comme dans la théorie de Lippmann et on pourrait admettre de plus, avec Nernst, que T_n dépend seulement de C_n et de telle manière qu'il croît jusqu'à un maximum quand la solubilité du sel de mercure diminue et décroît ensuite.

D'autre part, on ne peut pas dire que la théorie osmotique apprend à calculer φ_n : elle apprend à connaître seulement la variation de cette quantité avec la concentration des ions.

La question que doit résoudre maintenant la théorie de Lippmann est de savoir si en réalité k est une constante dans tous les cas, comme il paraît l'être jusqu'à présent.

M. L.

Lumière électrique dans un tube capillaire ;

Par O. SCHOTT [1].

Cette lumière s'observe lorsqu'on fait passer dans un tube de verre capillaire long de 60 mm et ayant de 0,05 à 0,08 mm de diamètre, la décharge d'une bobine d'induction (25 cm d'étincelle). Les pôles de la bobine sont reliés à des fils d'aluminium enfoncés dans le tube. Au bout de quelques instants, le tube s'échauffe, le verre devient conducteur et on n'observe plus que la lueur jaunâtre caractéristique du sodium. Si on

(1) *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 768-773.

entoure le tube d'un autre plus large renfermant de l'eau froide, on peut prolonger l'observation pendant plus d'une demi-heure. Au spectroscope, cette lumière donne un spectre continu et des raies brillantes dans le rouge, le jaune, le vert et le bleu, et aussi des raies noires longitudinales qui paraissent toujours en mouvement.

Après l'expérience, les parois intérieures du tube examinées à la loupe sont rugueuses et dépolies, comme le verre douci et présentent de petites excavations irrégulièrement distribuées. Ces altérations de la surface sont, selon toute vraisemblance, dues à l'action mécanique des décharges.

Si le diamètre du tube atteint 0,2 mm, la lumière est moins intense et prend une coloration rouge violacé; les parois du tube ne sont plus altérées. Avec des tubes de 0,02 ou 0,03 mm, la lumière est au contraire plus intense et les parois se dépolissent bientôt.

D'après les mesures photométriques effectuées avec un photomètre de Lummer-Brodhun, mais rendues difficiles par l'intermittence de la décharge, l'éclat de la lumière fournie par un tube de 0,02 mm équivaut à peu près à celui de 2 Hefner (flamme étalon à l'acétate d'amyle).

La substance dont sont formées les électrodes n'a pas d'influence sur les phénomènes. La nature du gaz renfermé dans le tube influe seulement sur la teinte de la lumière, qui est bleuâtre dans le gaz carbonique, rougeâtre dans l'hydrogène.

Sous les pressions supérieures à la pression atmosphérique (jusqu'à 3 atmosphères) les phénomènes sont à peine différents de ce qu'ils sont à la pression ordinaire, à cela près que la décharge passe moins facilement. Lorsque la pression diminue, l'intensité de la lumière décroît; jusqu'à la pression de 25 cm de mercure, la lumière reste blanche ; ensuite, elle prend une teinte rougeâtre. A la pression de 3 mm, la lumière est bleu clair et son spectre présente une raie rouge très vive et d'autres moins brillantes. Dans l'air encore plus raréfié, la couleur passe au bleu verdâtre et au bleu, les raies du rouge et du jaune disparaissent ; dans le vert, le bleu et le violet, elles deviennent plus intenses.

La composition chimique du verre n'exerce aucune influence. M. L.

Sur l'existence de radiations électrodynamiques dans le rayonnement solaire ;

Par Wilsing et Scheiner [1]

Les auteurs se sont proposé de rechercher l'existence des radiations électrodynamiques dans les rayons solaires en employant comme moyen d'investigation la variation des résistances de contact sous l'influence de ces radiations.

La partie essentielle, « sensible », de l'appareil est formée d'un pont, c'est-à-dire d'un fil d'acier posé sur deux autres fils de même dimension et qui ferme un circuit dans lequel se trouvent une pile et un galvanomètre. Pour se mettre à l'abri des ondes électriques réfléchies et diffusées par les parois de la chambre, on enferme le pont dans une boîte recouverte de clinquant. Le dessus de la boîte est percé d'une ouverture (100 cm^2) qu'on peut fermer hermétiquement par un couvercle de métal ; les fils de communication, dont les points d'attache doivent être soustraits à l'action du rayonnement, sont disposés comme il suit. L'un d'eux va du pont à la surface intérieure de la boîte, à laquelle est soudé le fil qui conduit à l'élément ; l'autre aboutit au milieu d'une plaque métallique de 25 cm^2, traverse la paroi de la boîte par une petite ouverture et aboutit à l'autre extrémité du pont. On compare les résistances d'après l'élongation que prend l'aiguille du galvanomètre quand la boîte est fermée et quand elle est ouverte.

Les auteurs ont effectué ainsi plusieurs séries d'expériences sur la réflexion, sur l'action des réseaux, expériences qui n'apportent aucun fait nouveau.

---

[1] *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 782-793.

Ensuite, ils ont fait arriver sur le pont les rayons solaires réfléchis par un héliostat ; les rayons calorifiques étaient arrêtés par une feuille de papier noir qui recouvrait le miroir de l'héliostat et une autre formant écran, car une pile thermo-électrique sensible n'était pas impressionnée d'une manière appréciable. Ils ont bien observé une diminution de la résistance, telle que la provoquent les radiations électrodynamiques; mais les résultats ne sont pas assez certains pour permettre d'affirmer l'existence de pareilles radiations dans les rayons solaires : d'une part ces expériences n'excluent pas la possibilité d'une influence directe des rayons calorifiques et, d'autre part, nous ignorons l'action absorbante des régions supérieures de l'atmosphère. M. L.

CORRESPONDANCE

Sur le rendement lumineux de l'arc électrique.

Monsieur,

Dans la très intéressante série d'articles sur le rendement lumineux de l'arc électrique que vient de publier M. Blondel dans *L'Éclairage Électrique* (numéros du 13 février, 13 mars et 20 mars 1897), il est question de certains points de mes propres recherches sur lesquels je désirerais ajouter quelques mots.

Dans une de ses notes (numéro du 13 février, page 291), M. Blondel dit :

« On me permettra en passant de faire remarquer que la théorie de l'effet de la résistance de stabilité, expliquée par les courbes à écart constant, a été indiquée par moi-même avec détails bien avant Mme Ayrton : sur ce point particulier l'éminente électricienne n'a fait que développer un résultat déjà acquis. »

J'avais déduit la théorie dont il s'agit de l'équation que j'ai donnée, reliant la différence de potentiel de l'arc, l'écart et le courant, les trois quantités étant considérées comme des variables; je regrette beaucoup d'avoir ignoré qu'une partie de ces résultats avaient déjà été élucidés d'une façon remarquable par M. Blondel en 1891. L'article dans lequel cette publication fut faite avait pour titre « Études expérimentales sur l'arc à courants alternatifs », et quoique j'eusse dû sans doute le consulter, je ne pensais pas y trouver des remarques sur les conditions de stabilité d'un courant direct.

M. Blondel ajoute dans un autre endroit (numéro du 20 mars, page 541) : « Mme Hertha Ayrton a été conduite ainsi à conclure que les meilleures conditions de fonctionnement de l'arc sont réalisées à l'écart minimum possible sans sifflement, mais les courbes montrent que dans ces conditions le rendement en lumière serait déplorable. » D'après cette observation, M. Blondel semble m'attribuer la pensée que la disposition donnant un maximum pour le rapport entre la puissance absorbée par l'arc et la puissance développée par l'appareil générateur est aussi la disposition qui donnerait le rendement lumineux maximum. Que tel n'était pas le cas résulte clairement des deux extraits suivants pris dans mes articles cités par M. Blondel.

1° (*The Electrician*. 13 décembre 1895, page 257). Le professeur Carhart a montré au congrès d'électricité de Chicago en 1893, que le rapport entre la puissance en bougies et la puissance donnée à l'arc est un maximum quand la différence de potentiel maintenue entre les charbons atteint une certaine valeur, et le professeur Ayrton a montré indépendamment que le rapport entre la lumière et la puissance électrique est maximum quand l'écart atteint une certaine valeur. Donc, pour déterminer l'écart, le courant, et la force électromotrice dont il faut se servir pour obtenir un rapport maximum entre la lumière émise et la puissance développée dans l'appareil générateur *il serait nécessaire de trouver la longueur d'arc donnant la plus grande quantité de lumière pour l'énergie absorbée*, quand le courant est aussi grand que possible, sans toutefois produire de sifflement, et nous pourrions alors déterminer la résistance qu'il faudrait introduire dans le circuit, et la force électromotrice dont il faudrait se servir, d'après les équations (10) et (11);

2° « Ainsi quand r (la résistance non comprise dans l'arc) est déterminé, $\frac{V}{E}$ est un maximum [1] quand l'arc est le plus court de ceux donnant *la quantité désirée de lumière.* »

[1] V est la différence de potentiel entre les charbons, E est la force électromotrice de l'appareil générateur.

Le premier de ces extraits montre que je voyais que pour perfectionner nos connaissances sur la disposition de l'appareil générateur de l'arc et du circuit qui donnerait le meilleur résultat, il était besoin d'une série de recherches, telles que celles qui viennent d'être si brillamment exécutées par M. Blondel. En effet, M. Blondel a montré que, avec un courant donné, une certaine différence de potentiel entre les charbons (ce qui implique un écart déterminé) donne un rendement lumineux maximum, ce rendement étant le rapport entre la lumière développée et la puissance absorbée par l'arc. D'un autre côté, j'ai montré pour ma part de quelle façon on peut rendre maximum le rapport entre la puissance absorbée par l'arc et la puissance développée par l'appareil générateur.

C'est en combinant ces deux séries de résultats qu'on pourra déterminer la disposition donnant la quantité de lumière maxima avec une puissance déterminée développée par l'appareil générateur.

S'il s'agit du rendement calorifique seulement (dans le fourneau électrique par exemple) les conditions que j'ai données dans *The Electrician* du 13 décembre 1895, page 228, sont suffisantes.

Veuillez agréer, etc.

HERTHA AYRTON.

Cher monsieur,

Je suis très reconnaissant à Mme Hertha Ayrton de la façon si courtoise dont elle répond à deux observations de détail que j'avais formulées au sujet de ses remarquables études sur l'arc électrique.

En ce qui concerne la théorie de la résistance de stabilité, pour laquelle elle veut bien reconnaître mon antériorité qu'elle ignorait, il va sans dire que celle-ci ne réduit en rien le mérite personnel de son travail, si essentiellement original.

Quant à ses remarques sur le rendement lumineux publiées dans ses articles de *The Electrician*, si elles ne m'avaient pas échappé, elles m'auraient fait éviter le malentendu, heureusement plus apparent que réel, que relève aujourd'hui Mme Ayrton et qu'elle voudra bien, j'espère, me pardonner; mon excuse, c'est que n'ayant pas sous la main tous ses articles, qui ont paru à des dates fort irrégulières, je m'étais reporté seulement à l'intéressante analyse de M. Hess où ces détails n'avaient pu trouver place.

Je dois avouer du reste que je ne regrette pas trop ce malentendu puisqu'il a valu à *L'Eclairage Electrique* un fort intéressant exposé des idées si pénétrantes de Mme Ayrton et qu'il me donne une nouvelle occasion d'exprimer ma respectueuse admiration pour sa courageuse persévérance et son brillant succès dans l'étude d'un des problèmes les plus difficiles de l'arc.

Veuillez agréer, etc.

A. BLONDEL.

Sur l'abus des termes étrangers en électrotechnique.

Monsieur le Directeur,

Dans une récente bibliographie, M. C. Jacquin critique, avec beaucoup d'à-propos, la tendance qu'on a en France à introduire dans l'électricité industrielle des termes exotiques à la fois inutiles et choquants. Permettez-moi d'ajouter sur ce sujet quelques remarques, que j'ai depuis longtemps sur le cœur, et qui viendront à l'appui de celles de M. Jacquin.

Cette anglomanie dans la terminologie n'est qu'une des manifestations de notre tournure d'esprit française bien connue, mais toujours déplorable, qui nous fait admirer de confiance tout ce qui se fait à l'étranger, et à être tellement hypnotisé par notre admiration gobeuse de nos voisins (qui nous répondent le plus souvent par toute autre chose), que nous ne nous donnons même plus la peine de chercher à connaitre nos propres forces. C'est ainsi qu'aujourd'hui, pour les tramways électriques, nos plus grandes Sociétés de construction vont acheter à l'étranger des modèles tout faits, qui ne sont le plus souvent que des modèles de seconde main, et quelquefois démodés, au lieu d'oser en créer elles-mêmes de tout aussi bons, et de plus modernes. En même temps que les modèles, elles ont rapporté naturellement les étiquettes étrangères, et nous les accueillons si bien, qu'une marque exotique est aujourd'hui en France une vraie réclame. Sans disserter ici sur les conséquences trop visibles déjà de cette triste tournure d'esprit, au point de vue de notre vitalité industrielle, je voudrais demander qu'on nous évitât au moins le ridicule du « snobisme ».

C'est assez que les snobs, qui sont légion, fassent blanchir leur linge à Londres et revenir d'Angleterre, pour les besoins du sport, des mots français défigurés qui déshonorent notre langue; qu'ils se contentent de ces immunités, de grâce! et nous

épargnent la même torture en électricité. Cela leur évitera du même coup des erreurs comiques et des contresens fâcheux pour leur prétention à la connaissance des langues étrangères. N'est-ce pas, en effet, le comble de la naïveté que d'appeler un mécanicien « wattman », en ajoutant que c'est le « terme américain », comme le déclarent gravement des auteurs récents? Faut-il apprendre à nos contemporains que ce pseudo-mot anglais, qui ne signifie rien dans aucune langue, a été créé à Marseille par un ingénieur suisse naturalisé Marseillais en cette circonstance, et qui doit bien rire de notre badauderie?

N'est-ce pas, d'autre part, le comble du solécisme de traduire « controler » par « contrôleur »? A ce compte, on pourrait rédiger, d'après l'étymologie, un intéressant petit dictionnaire anglais-français où « survey » voudrait dire « surveiller », « purchase », « pourchasser », etc... Je conseille ce passe-temps nouveau à ceux qui ont inventé contrôleur, et même controlleur.

C'est déjà trop que nous ayons donné droit de cité à « self-induction », ce mot horrible à l'œil d'un philologue, et à « feeder », qu'il est si pénible d'entendre toujours prononcer *fédère ;* n'augmentons pas cette liste en appelant un survolteur « booster », un protecteur « fender » (ce qui n est du reste que notre mot « défendeur » prononcé à l'anglaise) et un rhéostat « diverter », ce qui devient vraiment trop divertissant ». Ne vaudrait-il pas mieux, suivant la méthode de nos voisins, franciser les termes que nous avons déjà eu le tort d'accepter, en écrivant, par exemple, avec M. G. Pellissier, *trôlet* pour « trolley » et *fideur* pour « feeder », de même qu'on écrit depuis longtemps redingote pour « riding-coat », et bifteck pour « beefsteak »? Ne vaudrait-il pas mieux encore, comme on le fait dans les pays autres que la France, traduire tout simplement dans notre langue les expressions nouvelles sans chercher midi à quatorze heures? La traduction exacte de « motorman » et de « speed controller », c'est *mécanicien* et *régulateur* de vitesse. On accepte bien ces deux mots si clairs et si justes sur les automobiles à vapeur ou à air comprimé; on rirait de voir appeler sur celles-ci un mécanicien un « Ponceletman », et un régulateur « gouverneur », sous prétexte qu'un régulateur de machine à vapeur s'appelle en anglais « speed governor », et que le mécanicien fait débiter à sa machine une puissance mesurable en poncelets!

On expliquerait difficilement pourquoi on devrait traiter les automobiles électriques autrement que les autres voitures à traction mécanique... à moins que, peut-être, les électriciens, qui, comme on le sait, sont un peu des artistes en leur genre, ne cherchent, eux aussi, à « épater le bourgeois »!

Pour ma part, je ne vois pas d'autre motif qui puisse expliquer l'introduction de ces mots hétéroclites là où il est si simple d'appeler un chat un chat en bon français.

Veuillez, Monsieur le Directeur, faire bon accueil à ces remarques d'un modeste praticien, et veuillez agréer l'expression de mes sentiments respectueux

X. Ray,
Ingénieur-Électricien.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

Johannesburg (*Transvaal*). — *Station centrale et transport de force.* — M. F. Schiff décrit dans le *Génie Civil* du 17 avril, l'importante station centrale qui est en cours d'achèvement à Johannesburg (Transvaal). Nous en signalons ici les caractères principaux.

Cette usine a été construite dans le double but de fournir de l'énergie employée comme force motrice dans les nombreuses mines d'or dont ce pays est favorisé, et pour l'éclairage de la ville. L'énergie motrice est fournie par la vapeur, bien que l'usine se trouve à proximité d'un lac dont les eaux, ainsi que celles d'une rivière, le Waal, auraient pu être utilisées si l'on n'avait pas craint un débit inconstant par suite de la sécheresse du climat.

M. Singels, actuellement directeur de la station, fut chargé d'étudier la question de l'emplacement. L'endroit choisi est le lieu dit Brak-Pan, près des gîtes carbonifères portant le même nom, qui sont la propriété de la Transvaal Coal Trust Company. La nouvelle compagnie fit donc l'achat du terrain qu'occupait précédemment une ferme et passa un traité avec la compagnie minière par lequel cette dernière s'engageait à lui fournir du charbon pendant une période de 55 ans.

Les premiers travaux furent commencés en septembre 1895 et, malgré la pénurie de main-d'œuvre qui s'est produite pendant toute l'année suivante dans cette contrée, ils peuvent être considérés comme terminés.

La salle des machines occupe une superficie de 70×23 m et a 16 m de hauteur. La chaufferie a 75 m de long sur 14,50 m de large et comporte deux ailes distinctes pouvant recevoir chacune 5 générateurs. Les deux cheminées sont entièrement construites en tôle et ont respectivement 5 m de diamètre à la base et 3 m au sommet.

Près de la chaufferie se trouve l'entrepôt de charbon destiné à contenir une réserve de combustible pour plusieurs mois. Comme le plancher de ce hangar est en contre-bas du sol, les wagonnets chargés qui arrivent par une voie élevée suivant l'axe longitudinal du hangar, peuvent déverser leur contenu à droite ou à gauche. Dans l'espace laissé libre entre la voie et le sol de l'entrepôt se trouve une galerie formée de plaques de tôles et dans laquelle se meuvent deux vis d'Archimède qui entraînent jusqu'au pied du mur de la chaufferie le charbon qui pénètre dans la galerie par une série de vannes disposées de distance en distance. Un canal maçonné prolonge cette galerie depuis la sortie de l'entrepôt jusqu'au bâtiment principal. Arrivé en cet endroit le charbon tombe dans des monte-charges qui l'élèvent sur une plateforme longeant la chaufferie. Là, il est de nouveau repris par deux hélices qui le déversent dans les chargeurs automatiques, système Leach, dont chaque générateur est pourvu. Tous les engins servant à l'alimentation des foyers sont commandés par des moteurs électriques.

La batterie entière comprend actuellement huit chaudières tubulaires ayant chacune 316 m² de surface de chauffe, et pouvant travailler normalelement à une pression de 13,5 kg par cm².

En raison du peu d'eau dont on dispose pour l'alimentation de ces générateurs, on a préféré adopter le système de condensation à surface qui permet d'utiliser plusieurs fois la même eau et n'encrasse pas les tubes. De plus on ne se sert que de l'eau ayant été préalablement filtrée.

La salle des machines a été construite en prévision de l'installation de 5 groupes de 1 350 chevaux chacun. Quatre d'entre eux sont montés; le cinquième doit être installé ultérieurement. Chacun d'eux se compose d'une machine pilon, à triple expansion, et d'un alternateur triphasé Siemens et Halske. Ces machines reposent sur un épais lit de béton fait d'une seule coulée sur un fond de pierres dures. Leur puissance en charge normale est évaluée à 1 000 chevaux effectifs. Comme l'une d'entre elles est toujours maintenue en réserve, il y aura 3 000 chevaux disponibles qui permettront de disposer, pour les moteurs installés dans les diverses mines d'or du Rand, de 2 100 chevaux effectifs.

Les quatre alternateurs triphasés constituent la partie la plus intéressante du matériel électrique de cette usine. Ils sont du type à inducteur tournant. L'anneau renfermant l'induit fixe n'a pas moins de 4,50 m de diamètre et est formé de 2 pièces dont l'inférieure est en partie logée dans une excavation réservée à cette intention sous le bâti. L'excitatrice est placée dans le prolongement de l'arbre de l'inducteur. Le poids total d'un alternateur ainsi équipé est d'environ 80 tonnes. Ils produisent chacun 1 145 kilowatts à la vitesse angulaire de 100 tours par minute. La tension du courant aux bornes est de 700 volts, mais elle est ensuite élevée à 10 000 volts par des transformateurs pour la transmission du courant à grande distance.

La ligne aérienne principale est formée de six conducteurs en cuivre de 7 cm² de section supportés par des isolateurs spéciaux fixés à des poteaux tubulaires de 6 m de hauteur. Les dérivations se rendant aux différents puits environnants sont directement branchés sur cette ligne. La protection des lignes est assurée par des parafoudres Siemens, dont nous avons déjà fréquemment parlé et dont la description se trouve dans le numéro du 13 février de *L'Eclairage Electrique*, t. X, p. 321. Ces expériences faites sur ces parafoudres avec un courant de 20 000 volts ont donné d'excellentes preuves de leur efficacité.

A chaque point d'utilisation la tension du courant est ramenée, par l'intermédiaire de transformateurs, au potentiel de 240 et 500 volts selon que le courant est destiné à l'alimentation des lampes ou à celle des moteurs.

L'énergie électrique sera fournie au prix de 1 125 fr le cheval-an aux industries qui, comme l'exploitation des mines, par exemple, en ferait un usage constant. Pour l'emploi intermittent de cette énergie, comme par exemple, l'éclairage de Johannesburg, elle sera vendue au compteur et au tarif de 0,15 fr à 0,17 fr le cheval-heure.

DIVERS

Le chauffage électrique de la station centrale du Niagara. — La quantité d'énergie employée au chauffage de la salle des machines et des nombreux bureaux de la puissante station du Niagara est, nous dit M. O. Dunlop dans *The Electrician*, du 9 avril, très considérable ; on l'évalue à 700 chevaux par an en comprenant dans ce chiffre l'énergie perdue en chaleur pendant le fonctionnement des dynamos.

Le chauffage électrique est réalisé par deux systèmes différents d'appareils ayant chacun leur circuit propre, alimentés soit par du courant à haut potentiel, soit par du courant transformé. Les radiateurs des bureaux sont alimentés par cette dernière sorte de courant. Ils sont du type dit American et consomment, quand ils fonctionnent tous ensemble, environ 175 chevaux. Leurs circuits individuels sont branchés sur le secondaire d'un convertisseur qui ramène le potentiel de 2 000 à 100 volts. Ces radiateurs sont répartis par groupes de deux ou trois par bureau selon la grandeur de celui-ci. On a préféré en effet adopter deux appareils plutôt qu'un seul de plus grande puissance calorique afin de pouvoir en supprimer un ou de les employer tous les deux selon l'état de la température.

Le chauffage de la salle des machines est réalisé à l'aide de 15 radiateurs disséminés sur le pourtour, où ils sont fixés à environ 3 m du sol. Ces appareils sont d'un modèle tout spécial construit d'après les indications de M. P.-M. Lincoln, le chef de service de la station. Leur forme rappelle celle des rhéostats ordinaires; ils sont constitués par deux plaques circulaires en fer de 3 mm d'épaisseur et de 60 cm de diamètre placées horizontalement et maintenues écartées par leurs crampons de fixation à 90 cm l'une de l'autre. Chacune de ces plaques est percée de 28 trous munis d'isolateurs à travers lesquels passe le fil de fer du radiateur, qui forme autant de boudins de 38 spires chacun. L'ensemble est calculé pour absorber 65 ampères à 440 volts de façon à pouvoir alimenter les radiateurs directement par groupes de 5 en série avec du courant à 2 200 volts pris aux bornes des génératrices. Les 15 appareils sont donc alimentés par 3 circuits disposés de façon à pouvoir réaliser plusieurs combinaisons si l'on ne veut pas les mettre tous en service. Ainsi, en coupant l'un des circuits, comme c'est généralement le cas quand plusieurs génératrices fonctionnent, on alimente les radiateurs 1, 3, 5 etc., dont l'emplacement assure quand même un chauffage uniforme de l'air contenu dans la salle. Grâce à la chaleur produite par les dynamos, on n'a pas encore éprouvé jusqu'alors, même par les froids les plus rigoureux, le besoin de les mettre tous en service.

La fabrication des lampes Edison dans les ateliers de la General Electric Company. — En tête de son numéro du 30 mars, *The Electrical Engeneer* de New-York, publie sur ce sujet un article qui, bien que très sobre de détails, donne quelques renseignements intéressants sur les méthodes nouvelles employées à l'importante usine de Harrison (N.-J.).

Jusqu'à l'an dernier le vide était fait dans les lampes au moyen de trompes à mercure de Sprengel de petites dimensions n'opérant que sur une seule lampe à la fois. Des essais furent entrepris à diverses époques avec des machines pneumatiques mécaniques, mais comme les dimensions de ces machines forçaient à opérer sur un certain nombre de lampes à la fois, ces essais furent abandonnés, les ingénieurs de la compagnie estimant que l'avantage présenté au point de vue du temps par le traitement simultané de plusieurs lampes est plus que largement compensé par les inconvénients qui peuvent en résulter, entre autres la mise au rebut de toute une série de lampes par suite d'un accident dans leur fabrication. En 1895, ces essais furent repris avec des pompes de petit modèle opérant sur une seule lampe; les lampes ainsi préparées ayant accusé une plus longue durée et une plus grande constance dans leur intensité lumineuse, les pompes à mercure furent abandonnées et sont aujourd'hui complètement remplacées par des pompes mécaniques de petit modèle.

Pour enlever les dernières traces de gaz, on porte les filaments au rouge et on laisse entrer dans l'ampoule une petite quantité d'un gaz capable de se combiner au gaz restant. L'article est malheureusement complètement muet sur la nature de ce gaz; tout ce qu'il nous apprend c'est que la combinaison est presque immédiate et se manifeste par la disparition brusque d'une lueur bleue qui remplit la lampe avant l'introduction du gaz servant à absorber les dernières traces du

gaz primitif. De plus il paraîtrait que la main-d'œuvre est beaucoup plus facile que par l'ancien procédé et qu'il est plus commode d'obtenir des lampes ayant le même degré de vide et par suite les mêmes qualités.

L'influence de la chaleur sur la magnétisation de l'acier et du fer. — Bien que ce sujet ait été maintes fois exploré, on n'en connaît sans doute pas encore tous les détails si l'on en juge par les intéressants résultats qu'a obtenus le Dr K.-E. Guthe dans des recherches qu'il exposait à la dernière réunion de l'American Institute of Electrical Engineers. Cet expérimentateur a trouvé que :

1° La température à laquelle doit être porté l'acier pour devenir magnétiquement dur par refroidissement brusque dépend de sa teneur en carbone ; elle est beaucoup plus basse pour l'acier riche en carbone que pour l'acier pauvre et correspond à peu près à la température de recalescence ;

2° La dureté magnétique acquise est d'autant plus grande que la température à laquelle l'acier est porté est plus élevée au dessus de la température de recalescence ;

3° Elle augmente en même temps que la teneur en carbone ;

4° Le recuit adoucit en général l'acier magnétique dur, c'est-à-dire accroît sa perméabilité magnétique ; en même temps l'induction maxima est accrue et la force coercitive diminuée. Cependant l'acier ne contenant que peu de carbone présente un durcissement sensible quand on le maintient pendant peu de temps à 100° C.

La plus grande variation de l'induction maxima se produit entre 200 et 300° C pour l'acier riche en carbone et entre 300 et 450° C pour l'acier à faible teneur en carbone ; pour ce dernier il n'y a pas de changement sensible au-dessus de 450° dans la limite pratique de saturation, mais seulement un accroissement de la perméabilité pour de faibles forces magnétisantes, c'est-à-dire une diminution de la force coercitive ou de la perte par hystérésis ;

5° Pour obtenir des aimants puissants, l'acier dur doit être d'abord chauffé à 450° C ;

6° L'acier chauffé à une haute température au-dessus du point de recalescence et refroidi brusquement a une faible force coercitive et, par suite, la perte par hystérésis est considérablement diminuée. Ce résultat peut être également obtenu, mais à un moindre degré, par un recuit à haute température.

L'électricité au bureau météorologique de New-York. — Notre confrère *The Electrical Wordl* décrit les divers appareils électriques en usage à l'observation météorologique de Manhattan Life Buildings, à New-York, pour étudier et enregistrer les variations de la température, la force du vent, etc. Ceux de ces appareils dans lesquels l'électricité joue un rôle prépondérant sont le téléthermographe, le pluviomètre, l'anémomètre et sa girouette. Ils sont, à l'exception des enregistreurs, placés dans le poste d'observation, sorte de tourelle élevée dépassant le faîte du bâtiment et où ils sont convenablement abrités.

Le téléthermographe, dont la forme rappelle celle des manomètres de Bourdon, est formé d'un tube en spirale rempli d'alcool qui, en se dilatant, fait dérouler le tube ; les mouvements de celui-ci, entrainent, dans un sens ou dans l'autre, un index relié au circuit d'une source d'électricité ; sur l'échelle graduée parcourue par cet index se trouvent deux légères aiguilles mobiles faisant entre elles un angle d'un peu plus d'un quart de degré et qui, au moyen d'électro-aimants, se déplacent automatiquement d'un quart de degré dans le sens de la progression de l'index à chaque fois que ce dernier touche l'une d'elles, ce contact complétant le circuit par l'électro correspondant au mouvement d'avancement de l'aiguille. Au moyen de deux circuits et par un mécanisme sur lequel l'auteur ne s'explique pas, ces déplacements actionnent un index inscripteur appuyant sur un tambour en rotation.

L'héliomètre consiste en deux ballons pleins d'air raréfié dont l'un est recouvert d'un vernis sombre propice à l'absorption de la chaleur solaire et l'autre nu. Un tube horizontal contenant un index de mercure les réunit ; au milieu de ce tube se trouvent deux contacts. L'appareil étant au repos, le mercure se trouve éloigné des contacts ; dès qu'on l'expose au soleil, le ballon verni absorbant rapidement les rayons solaires, le mercure se déplace et vient, en touchant un des contacts, fermer le circuit de l'appareil de commande du style inscripteur. Celui-ci fonctionne d'une façon analogue au style du téléthermographe, il trace sa courbe sur un cylindre semblable et dans une

même direction jusqu'à ce que le soleil se trouve masqué par un nuage ; à ce moment, l'inverse se produit. La courbe que l'on obtient ainsi forme des zigzags plus ou moins allongés selon la fréquence des deux périodes d'ombre et de soleil.

Sur le cylindre enregistreur de l'héliomètre s'inscrivent aussi les indications de l'anémomètre. Les ailettes de ce dernier entraînent par leur axe vertical et une vis sans fin deux cadrans dont l'un porte à sa périphérie 99 dents correspondant à une vitesse du vent de 10 milles à l'heure et dont l'autre porte 100 dents correspondant chacune à un dizième de mille. Les engrenages sont calculés de façon à ce que quand les ailettes ont accompli 50 tours le dernier cadran ait avancé d'un dixième de tour ; en d'autres termes à 500 tours des ailettes correspondent 10 divisions du cadran, soit une vitesse du vent de 1 mille à l'heure. Quand ce cadran a accompli une révolution entière, l'autre avance d'une dent et l'enregistrement des vitesses s'effectue par un mécanisme analogue à celui des appareils précédents ; les fermetures du circuit ont lieu par les dents de l'un des cadrans, en passant sur une mince lame flexible et isolée du reste de l'appareil. Quant à la direction du vent, elle se trouve également inscrite toutes les minutes par quatre index munis d'une plume et orientés dans la direction des quatre points cardinaux. Leur fonctionnement est très simple. Toutes les minutes, un mouvement d'horlogerie les met dans le circuit. Si à ce moment la girouette indique le Nord par exemple, sa roue de contact complète le circuit du style correspondant, qui aussitôt, par l'action de son électro, marque un point sur le cylindre où s'inscrit déjà la courbe de vitesse. Pour les positions intermédiaires, telles que Nord-Est ou Sud-Ouest, la roue établit les contacts des deux marqueurs correspondants à la fois.

Le pluviomètre enregistreur automatique est un appareil non moins intéressant que les premiers, où l'électricité remplit aussi un rôle des plus importants. Le vase récepteur est placé sur un plateau de balance où il est en équilibre ; à chaque pouce cubique d'eau recueillie, il entraine son contrepoids et vient fermer le circuit de deux électros, dont l'un agit immédiatement sur une roue à rochet placée près du contrepoids qui ajoute un poids supplémentaire jusqu'à contrebalancer le récepteur. Pendant ce temps le second électro, affecté à l'appareil enregistreur spécial, agit également sur une roue à rochet commandant les mouvements du style et l'oblige à se déplacer de droite à gauche autour d'un axe horizontal. Cette action dure tant que le récepteur est abaissé, aussitôt qu'il revient en équilibre par l'addition des poids les deux électros se trouvent coupés du circuit. L'opération se répète ainsi pour chaque pouce d'eau tombée dans le récipient. Pour calculer la quantité d'eau tombée, il suffit de multiplier le nombre de traits, aller et retour, marqués sur le cylindre, par 0,5 et d'ajouter l'indication de la balance au début de l'expérience ; le résultat est évalué en pouces.

Outre ces appareils qui ne servent qu'aux observations locales des variations atmosphériques, le bureau météorologique est relié par de nombreuses lignes télégraphiques et téléphoniques à d'autres postes éloignés avec lesquels on peut faire des échanges d'observations.

La production de l'aluminium en 1896. — Le *Shal und Eisen*, du 15 mars 1897, contient le résumé d'une conférence de M. J. Richards sur l'électrométallurgie de l'aluminium, d'où nous extrayons les chiffres suivants sur la quantité de ce métal fabriqué en 1896 :

Usines.	Puissance. Chevaux.	Production quotidienne Kg.
New-Kensington (États-Unis)	1 600	900
Niagara (États-Unis)	1 600	1 100
Neuhausen (Suisse)	4 000	2 300
La Praz (France)	2 500	1 350
Saint-Michel (France)	2 000	1 150
Totaux . . .	11 700	6 800

Les nouvelles installations en cours d'exécution et qui seront terminées en 1898 sont :

Usines.	Puissance. Chevaux.	Production quotidienne. Kg.
Niagara (États-Unis)	5 500	3 150
Rheinfelden (Suisse)	6 000	3 600
Saint-Michel (France)	2 000	1 150
Falls of Foyers (Écosse) . . .	3 000	1 800
Sarpfos (Norvège)	5 000	2 900
Totaux	21 500	12 600

En 1898, toutes ces usines réunies disposeront d'une puissance d'au moins 33 000 chevaux et pourront fournir, par jour, près de 20 tonnes d'aluminium soit environ 6 000 tonnes par an.

Action des rayons X sur le cœur. — MM. Gaston Seguy et F. Quénisset, ont présenté à la séance de l'Académie des Sciences du 5 avril dernier la note suivante :

« Nous avons constaté simultanément que, si l'on reste soumis pendant *très longtemps* à l'action des rayons X, on éprouve du côté du cœur des troubles particuliers qui se font sentir par des palpitations insupportables et des battements très violents et très irréguliers. M. Gaston Seguy l'a constaté sur lui-même après de nombreuses expositions aux radiations nouvelles. M. F. Quénisset a fait ces observations sur une personne qu'il avait soumise pendant assez longtemps au traitement des rayons X pour y expérimenter leur action thérapeutique. Le malade a d'abord éprouvé une grande oppression du côté du cœur, puis des battements très violents et irréguliers qui devenaient absolument insupportables et dangereux lorsque les rayons X traversaient la poitrine. On fut obligé de placer une feuille métallique assez épaisse pour intercepter les radiations sur la partie éprouvée.»

Application des projecteurs à l'exploration du fond de la mer. — Divers aéronautes ont signalé la facilité avec laquelle on pouvait scruter la mer à d'assez grandes profondeurs malgré le mouvement des vagues, lorsqu'on planait en ballon à une certaine hauteur au-dessus des flots. On a même songé à utiliser ce procédé pour apercevoir les bateaux sous-marins rôdant autour des escadres. Une très originale application de ce système a été faite ces jours derniers à Toulon. Le ballon du parc de Lagoubran, remorqué par un petit vapeur et planant à une centaine de mètres, éclairait vivement les fonds sous-marins à l'aide d'un projecteur électrique. Une équipe de scaphandriers opérait sur les indications du lieutenant de vaisseau aéronaute et repêchait les objets signalés. C'est ainsi qu'on a réussi à retrouver et à remonter les fragments de la torpille qui a mis récemment hors de service le cuirassé *le Jauréguiberry*. Ces débris se trouvaient à une profondeur de 20 mètres environ. En raison des résultats obtenus, ces essais vont être poursuivis.

La condensation de la vapeur des moteurs dans les stations centrales. — Le choix du système de condensation a une importance considérable sur la consommation du combustible et lorsque le combustible est à un prix élevé, comme c'est généralement le cas pour les stations génératrices d'électricité établies dans les villes, un choix judicieux du système de condensation peut permettre de diminuer les dépenses d'exploitation dans de larges limites.

Souvent chaque moteur à vapeur possède son condensateur particulier ; c'est là une pratique défectueuse. Depuis quelques années, spécialement en Allemagne, on a établi dans beaucoup d'usines un condenseur général unique qui recueille la vapeur de tous les moteurs, les résultats économiques ont toujours été très importants.

A titre d'eexmple nous signalerons, d'après le *Bergund Hüttenwesen* du 23 janvier, l'importante application qui a été faite de ce dernier système au charbonnage d'Ewald, en Westphalie. Les différents moteurs de ce charbonnage ont une puissance totale de 2330 chevaux et dépensent plus de 12000 kg de vapeur par heure. Comme généralement tous ne fonctionnent pas en même temps, on n'a établi le condenseur général que pour une puissance de 1 200 chevaux. Ce condenseur est du système Balcke, à surface. Il est constitué par un collecteur et par une série de serpentins refroidis par une pluie d'eau, dont on abaisse ensuite la température en la faisant couler sur une série de planches inclinées disposées en escalier ; tout l'ensemble est placé dans une grande chambre où une cheminée de 28 m de hauteur provoque un vif courant d'air qui, en activant l'évaporation, produit un refroidissement rapide. Trois pompes complètent l'installation : l'une rotative sert à élever l'eau de refroidissement ; une autre refoule dans les chaudières l'eau condensée préalablement séparée de l'huile entraînée ; la troisième, la pompe à vide, maintient dans le condenseur un degré de vide égal à 646 ou 684 mm suivant que la machine d'extraction de 600 chevaux est ou n'est pas en action. La puissance dépensée par ces trois pompes n'est que de 24 chevaux, soit environ 1 p. 100 de la puissance totale de l'usine. L'installation de ce condenseur central a eu pour résultat de diminuer de 20 p. 100 la consommation de charbon ; quant à la quantité d'eau perdue par évaporation dans l'appareil, elle est environ les 5/8 de celle qui est condensée.

Tramway électrique à contacts aériens. — A la séance du 20 janvier de la Société internationale des Électriciens, M. A. Bochet présentait un intéressant système de distribution de courant aux voitures de tramways permettant la suppression du trôlet et des conducteurs aériens, système que nous décrivions dans notre numéro du 27 mars (p. 21). D'après une lettre de M. Marcel Deprez que publie le *Génie civil* du 17 avril, ce système aurait été l'objet d'un brevet pris le 14 avril 1893 par M. Joubert et dont voici le texte :

« M. Joubert fait le 14 avril 1893 une demande de brevet de quinze années, *pour un mode de transmission de courant aux véhicules ou à la locomotion électrique des chemins de fer ou tramways électriques :* 1° sans établir aucun lien mécanique entre le véhicule et le conducteur fixe installé le long de la voie ; 2° sans modifier, en quoi que ce soit, les voies existantes dont les rails ne jouent aucun rôle comme conducteurs du courant ; 3° en employant indifféremment des conducteurs aériens ou souterrains sans gêner l'accès de la voie ou la circulation des piétons ou des voitures ; 4° sans que rien, en un mot, révèle que les véhicules sont mus par l'électricité.

» Tout le long de la voie, et à des distances égales au plus à la longueur des plus petits véhicules appelés à y circuler, sont des poteaux dont les *hauteurs varient depuis celle des marchepieds des voitures jusqu'à celle du toit, suivant les dispositions qu'on croira devoir adopter.* Ces poteaux sont munis de balais au nombre de deux ou quatre, suivant que l'on a une voie simple ou double. D'autre part les véhicules portent des bandes de métal isolées, dont les extrémités sont taillées en pente douce pour éviter les chocs.

» M. Joubert revendique *l'invention de balais fixes espacés le long de la voie* servant à distribuer un courant électrique destiné à produire dans le train un effet utile quelconque : traction, éclairage, signaux télégraphiques. »

M. M. Deprez exprime l'espoir que ce système, qui n'a jamais rencontré qu'indifférence, sera au moins soumis à un essai.

Nouveaux projets relatifs au chemin de fer électrique de la Jungfrau. — Notre confrère l'*Elektrotechnische Zeitschrift* donnait dans un de ses derniers numéros une description sommaire d'un nouveau projet d'installation électrique devant servir au chemin de fer électrique qu'il est question d'établir sur les flancs de la Jungfrau. Ce projet, présenté par MM. Wuest-Kuntz, de Seebach et L. Thormann, ingénieur de la maison Oerlikon, est basé sur l'emploi des courants polyphasés. Sans entrer dans les détails préliminaires par lesuuels les auteurs s'efforcent de faire ressortir les avantages des courants polyphasés sur les courants continus, en pareils lieu et circonstance, nous résumerons succinctement leurs propositions finales.

La puissance nécessaire à l'exploitation de ce chemin de fer est évaluée approximativement à 950 kilowatts (y compris 100 kws devant être utilisés pour les besoins de l'éclairage et du chauffage). Les auteurs considèrent qu'il y aurait cependant lieu de construire à Burglauenen une station hydraulique permettant d'utiliser une puissance disponible de 2 880 chevaux et de la transformer en énergie électrique par quatre groupes formés chacun d'une turbine de 750 chevaux et d'un alternateur triphasé. de puissance correspondante. Un seul de ces groupes suffirait donc pour la ligne en question, les autres pourraient être installés plus tard, pour servir à d'autres besoins. La dépense de premier établissement est évaluée de ce chef à 196 000 fr. Dans cette somme est compris le prix d'un alternateur triphasé de 750 chevaux, tout monté et prêt à fonctionner, soit 122 000 fr ; celui d'une ligne aérienne capable de transmettre 1 500 chevaux, avec une perte admise de 10 p. 100, soit 70 000 fr ; et enfin le prix, porté à 4 000 fr, d'un circuit téléphonique, avec appareils. Cette évaluation ne se rapporte évidemment qu'à la génératrice et à la transmission proprement dite. Les frais d'installation, d'éclairage et de chauffage sont estimés à part. En admettant, comme le comporte le projet, que les lampes réparties le long de la ligne, sous les tunnels, principalement, et dans les stations (100 environ pour chacune d'elles) soient alimentées directement par le courant de l'usine, pris sur l'un des trois fils du circuit, et convenablement transformé, il suffirait d'une somme de 60 000 fr pour couvrir les frais d'installation (fils, lampes, transformateurs et pose comprise). Quant au chauffage, il serait réalisé par des radiateurs de puissances diverses, employés dans les stations et dans les trains. Leur installation reviendrait à 13 000 fr, sans tenir compte des transformateurs, ceux-ci étant comptés dans l'installation d'éclairage.

Le Gérant : C. NAUD.

EVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XI. Samedi 8 Mai 1897. 4e Année. — N° 20.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

ÉTUDE DES DÉCHARGES (1)

LES POTENTIELS EXPLOSIFS, STATIQUE ET DYNAMIQUE

§ I. Quelques généralités sur l'étude expérimentale des décharges ; la méthode des étincelles.

Une décharge est caractérisée par un changement très rapide, dans la distribution de l'électricité, sur les conducteurs qui en sont le siège.

Si un fil est parcouru par une décharge, l'intensité du courant et la différence de potentiel entre deux de ses points varient très rapidement d'un instant à l'autre; l'étude expérimentale complète du phénomène consiste à déterminer la valeur que prend chacune de ces deux quantités à chaque instant. Cette étude a été faite par des méthodes stroboscopiques pour les décharges de bobines de Ruhmkorff (2) ou de condensateurs dont la période d'oscillation est de l'ordre du dix-millième de seconde (1). Pour des décharges plus rapides de bouteilles de Leyde, de vibrateurs et de résonateurs hertziens, les méthodes précédentes sont en défaut; pour contrôler la théorie par l'expérience on évalue l'effet calorifique, électromagnétique ou électrostatique produit par la décharge tout entière; le plus souvent on détermine le potentiel maximum produit entre deux points a et b du circuit pendant la décharge. On emploie, à cet effet, la *méthode des étincelles:* on met les points a et b en contact respectivement avec les pôles A et B d'un excitateur; on détermine la distance explosive maximum Δ de cet excitateur pour la décharge étudiée; on mesure par un électromètre absolu le potentiel explosif V correspondant à Δ; on en conclut que le potentiel V est le potentiel maximum atteint pendant la décharge entre les points a et b. Cette méthode trouve son emploi constant dans l'étude des oscillations hertziennes ou des décharges des bouteilles de Leyde. Dans quelles conditions est-elle légitime? C'est la question que nous chercherons à résoudre.

(1) Thèse de doctorat, soutenue à la Sorbonne le 6 mai.

(2) Helmholtz, *Monatsberichte der Berl. Akad.*, 1871; Blaserna. *Archives des sciences physiques et naturelles;* nouvelle série, t. XXXVIII, p. 338, 1870; Bernstein, *Pogg. Ann.*, t. CXLII, p. 54, 1871; Mouton, *Étude expérimentale sur les phénomènes d'induction électromagnétique* (Thèse de doctorat 1876), Paris.

(1) P. Janet. Séances de la Société française de physique. Janvier-avril, 1893, p. 98. — *Comptes rendus*, 21 novembre 1892; 26 décembre 1892; 13 février 1893. — *La Lumière Électrique*, t. XLVII, p. 543. 10 décembre 1892; t. LXVII, p. 336, 13 février 1893; t. LXVIII, p. 81, 15 avril 1893.

§ II. Les potentiels explosifs statique et dynamique

Lorsqu'on réunit les deux pôles d'un excitateur aux pôles d'une machine électrostatique de faible débit munie de ses condensateurs, le champ électrostatique créé entre les pôles de l'excitateur varie lentement, l'électricité distribuée sur chacun d'eux peut être considérée comme étant en équilibre à chaque instant : *on charge l'excitateur par une méthode statique*.

Lorsqu'on met les pôles de l'excitateur en communication avec deux points d'un fil parcouru par une décharge, le champ électrostatique varie très rapidement et il n'est pas démontré qu'à chaque instant l'électricité prenne une distribution d'équilibre [1] : *on charge l'excitateur par une méthode dynamique*.

Or, la distribution de l'électricité sur les pôles d'un excitateur exerce une influence sur la distance explosive : deux excitateurs de formes différentes, chargés au même potentiel, se déchargent pour des distances explosives différentes. Il n'est donc pas évident, *a priori*, qu'un excitateur placé dans des conditions physiques déterminées, chargé par une méthode statique ou par une méthode dynamique, se décharge pour la même valeur du potentiel. En désignant sous le nom de *potentiel explosif statique* ou de *potentiel explosif dynamique* le potentiel pour lequel on observe une étincelle à l'excitateur chargé par une méthode statique ou dynamique, nous pourrons dire qu'*il n'est pas évident que les potentiels explosifs statique et dynamique d'un même excitateur soient égaux entre eux*.

Dans la méthode de mesure du potentiel par les étincelles, décrite précédemment, on admet que l'étincelle a éclaté pour le même potentiel dans la décharge et dans la mesure électrométrique. Or, la mesure du potentiel explosif par l'électromètre se fait en chargeant l'excitateur suivant une *méthode statique*, donc les physiciens qui se servent de la méthode des étincelles dans l'étude des décharges supposent implicitement ou explicitement l'*égalité des potentiels explosifs statique et dynamique d'un même excitateur*.

M. Jaumann [1], en se basant sur des expériences très ingénieuses sur lesquelles nous aurons à revenir, a contesté cette manière de voir; son opinion ne semble pas avoir prévalu et la plupart des physiciens qui se sont occupés de potentiels explosifs admettent encore l'égalité des potentiels explosifs statique et dynamique.

Dans ce travail, je me propose de montrer :

1° Que dans les conditions où se sont placés la plupart des expérimentateurs, les potentiels explosifs statique et dynamique sont inégaux [2];

2° Que moyennant certaines précautions la méthode des étincelles est justifiée par l'expérience.

Ce travail a été fait à l'Institut de Physique de l'Université de Lille.

Je dois la plus vive reconnaissance à M. Damien, professeur de physique à l'Université, pour l'empressement avec lequel il a mis toutes les ressources du laboratoire à ma disposition et l'affectueux intérêt avec lequel il a suivi et encouragé ces recherches.

J'adresse un souvenir reconnaissant à tous ceux qui se sont intéressés à mon travail et, particulièrement, à M. Bernard Brunhes, chargé de cours de physique à l'Université de Dijon.

§ III. Les appareils

Condensateurs. — 1° Les condensateurs sont, en général, de grosses jarres en verre dont les surfaces intérieure et extérieure sont recouvertes de papier d'étain; une tige de

(1) On conçoit que l'excitateur puisse être chargé avec une rapidité telle que la distribution de l'électricité sur les pôles soit notablement différente de la distribution d'équilibre, mais il est possible que cette rapidité ne soit pas atteinte dans la pratique.

(1) *Einfluss rascher Potentialänderungen auf den Entladungsvorgang*. (*Sitz. ber. der Akad. der Wiss. zu Wien*, p. 765; juillet 1888.)

(2) Cette inégalité est due à des causes bien différentes de celle qu'avait invoquée M. Jaumann.

cuivre repose sur le fond intérieur par un trépied en cuivre et se termine à l'extrémité supérieure par un serrefil à 10 centimètres au-dessus de l'ouverture de la jarre. La tige de cuivre est entourée d'un tube en verre. La jarre est fermée par un couvercle en bois paraffiné que la tige de cuivre entourée de verre traverse en son milieu. Le fond extérieur de la jarre repose sur une plaque de clinquant sur laquelle on a soudé un serrefil. A l'intérieur de la bouteille on place un verre contenant du chlorure de calcium sec qu'on renouvelle de temps en temps.

2° On se sert aussi de condensateurs plans. L'isolant est un verre paraffiné de forme carrée, les armatures sont des plaques carrées de clinquant dont les bords sont retroussés vers l'extérieur et contournés sous forme de tubes pour éviter les effluves, et dont le côté a 4 centimètres de moins que le verre. Sur la face extérieure on a soudé un serrefil au centre de la plaque. On applique séparément ces plaques préalablement chauffées sur chacune des faces du verre paraffiné; la paraffine fond, puis se refroidit et la plaque adhère au verre. Le verre dépasse l'armature de 2 centimètres sur tout le pourtour; on l'enchâsse dans un cadre en bois.

Les capacités des condensateurs ont été mesurées par la méthode de la déviation permanente par des décharges multiples.

Machine électrostatique. — On se sert uniquement de la machine de Holtz à deux plateaux mobiles, on réunit les pôles aux serrefils des armatures du condensateur par l'intermédiaire de fils de cuivre de 60 à 80 cm de longueur et de 0,8 mm de diamètre.

Bobines. — Les bobines sont construites de manière à pouvoir supporter les décharges sans étincelle entre spires voisines. Leur carcasse est entièrement en bois; chaque bobine comprend 4 couches de fil comprenant chacune 16 spires. Chaque spire est distante de 3 mm environ de la suivante et deux tours de spires voisines sont isolés l'un de l'autre par une couche de paraffine de 0,8 cm environ d'épaisseur. Le premier tour de spires a 3 cm de diamètre environ, le dernier 9 cm environ. La bobine se termine à l'extérieur par deux fils de 1 m de long environ perçant le même oreillon, l'un au niveau du premier tour de spires, l'autre au niveau du dernier (fig. 1). Le fil de cuivre

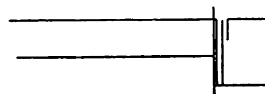


Fig. 1.

employé est recouvert de soie et a $\frac{8}{10}$ de mm de diamètre. La self-induction de chaque bobine est de l'ordre du $\frac{1}{10\,000}$ de quadrant. La résistance est de 0,5 ohm.

Pôles. — Les pôles entre lesquels éclatent les étincelles sont, en général, des pôles sphériques en laiton ou en fer terminés par une tige filetée pouvant se visser sur les branches des excitateurs.

On appelle, dans la suite, pôles en argent, platine, etc., des pôles sphériques en laiton recouverts, dans la région où éclatent les étincelles, par une calotte hémisphérique de quelques $\frac{1}{10}$ de millimètre d'épaisseur, en argent, platine, etc., que l'on fait adhérer au laiton par une matière conductrice, la soudure de plomb, par exemple.

Les pôles sphériques de 1, 3 et 5 mm de diamètre sont, en réalité, de petites tiges de laiton de 1,5 cm de long, cylindriques sur une partie de leur longueur, se terminant d'un côté par une surface hémisphérique de 1, 3 ou 5 mm de diamètre, présentant un léger renflement au bout opposé, et suivi d'une petite tige filetée (fig. 10, p. 12).



Fig. 2.

On se sert aussi de boucles formées d'un fil de cuivre d'environ 1 mm de diamètre recourbé en forme de cercle, fixées sur

isolant (voir plus loin); le fil de décharge est soudé directement aux extrémités libres de la boucle (fig. 2).

Excitateurs. — Les excitateurs sont des micromètres à étincelles de la forme décrite par M. Mascart [1]. Ils se composent essentiellement de deux tiges horizontales, ou branches de l'excitateur, montées sur pied isolant, placées dans le prolongement l'une de l'autre, taraudées à leurs extrémités en regard. Toutes les deux peuvent se déplacer suivant leur axe et l'une d'elles peut, en outre, s'allonger par la rotation d'une vis dont les déplacements se marquent sur un quadrant.

Pour les expériences que nous avons à faire, les branches doivent être horizontales et fixes; on les y maintient en serrant fortement les vis qui commandent leur déplacement.

Les pôles sont vissés directement sur les branches des excitateurs ou indirectement par l'intermédiaire d'une tige isolante en fibre ou en ébonite.

Quand les pôles sont vissés directement sur les branches des excitateurs on y amène la décharge par des fils de cuivre fixés dans les serrefils des excitateurs.

Dans un grand nombre d'expériences, j'ai employé des *pôles fixés sur isolant*. Voici ce que j'entends par là :

Un petit cylindre d'ébonite ou de fibre de 4 à 6 cm de long et 1 cm de diamètre est taraudé suivant son axe, à ses deux extrémités.

On adapte à l'une des extrémités une petite tige de laiton filetée qui servira à visser la tige sur la branche de l'excitateur, le tarau-

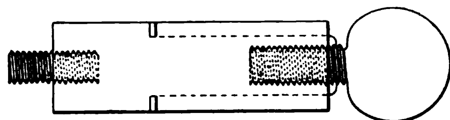


Fig. 3.

dage de l'autre extrémité recevra le pôle à étudier. Pour amener la décharge au pôle, on creuse dans la tige isolante quatre rainures de 1 mm de large sur 2 à 3 mm de profondeur, deux diamétralement opposées parallèles à l'axe, et deux perpendiculaires à 2 cm environ de l'extrémité opposée à celle qui doit recevoir le pôle ; on adapte des fils dans les rainures, comme l'indiquent les figures 3 et 4 ; on les y maintient avec un peu de cire à cacheter ; ainsi qu'on le verra plus loin, les cylindres isolants portent, en général, des plaques isolantes (fig. 4).

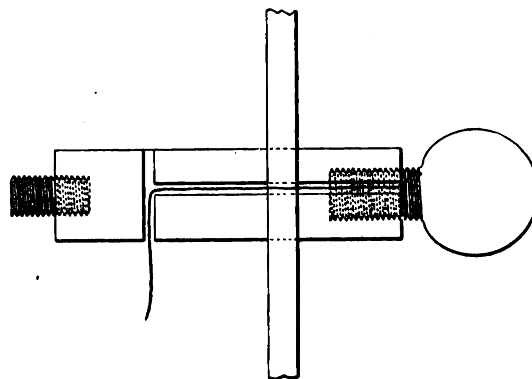


Fig. 4.

Les appareils décrits se trouvant dans tous les laboratoires, les expériences que nous décrirons pourront être facilement répétées par tous les physiciens.

§ IV. La charge dynamique employée

Quelques propriétés de la décharge par étincelle ; le potentiel maximum.

Considérons un condensateur dont les ar-

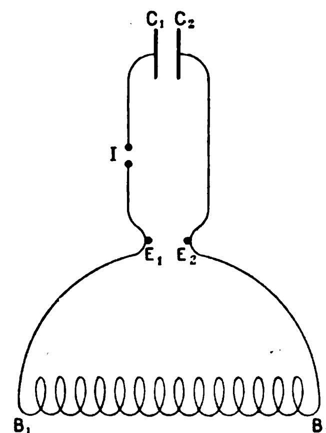


Fig. 5.

matures C_1, C_2 sont réunies par un circuit

(1) Mascart. *Traité d'électricité statique*, t. II, p. 66.

métallique présentant une interruption I (fig. 5).

L'interruption I sera, par exemple, le champ interpolaire d'un excitateur à boules; le circuit comprendra une bobine dont les extrémités sont B_1, B_2.

Si les armatures C_1, C_2 communiquent avec les pôles d'une machine électrostatique en activité, le condensateur se charge. Lorsque le potentiel de I est suffisamment élevé, une étincelle éclate en I et le condensateur se décharge à travers le circuit.

Si la machine électrostatique tourne très lentement, à raison de son faible débit, la différence de potentiel entre les deux extrémités de la bobine reste sensiblement nulle jusqu'à l'instant où la décharge commence. *La différence de potentiel entre les extrémités de la bobine étant nulle au début de la décharge est une fonction croissante du temps dans les premiers instants de la décharge.*

Si on met en contact métallique les deux points B_1, B_2 avec les deux pôles d'un excitateur, ces deux pôles se chargent dynamiquement et, à raison de leurs dimensions très faibles ne troublent pas sensiblement la loi de la décharge du condensateur.

Désignons sous le nom de *potentiel maximum de la décharge* entre les pôles E_1, E_2 la différence de potentiel maximum atteinte pendant la décharge considérée entre ces pôles. Ce maximum est atteint en un temps θ qui n'est qu'une fraction assez petite de la durée totale de la décharge; cette dernière étant de l'ordre de $\frac{1}{10\,000}$ de seconde, ou plus petite encore, la *charge dynamique de l'excitateur dérivé se fait donc en une fraction extrêmement petite de seconde.*

Si la charge se fait en un temps déterminé θ, elle sera d'autant plus rapide que le potentiel maximum sera plus élevé; c'est pour cela que, dans nos expériences, les pôles E_1, E_2 sont réunis aux armatures du condensateur par des fils métalliques peu résistants et sensiblement rectilignes.

Le potentiel maximum est inférieur au potentiel explosif de l'excitateur principal.

Considérons en effet l'équation fondamentale des décharges :

$$V = Ri + L\frac{di}{dt}, \qquad (1)$$

où V est la différence de potentiel entre les armatures du condensateur et i l'intensité du courant, supposé uniforme, à l'instant t, R et L la résistance et la self-induction de tout le circuit.

Si C est la capacité du condensateur, supposée constante, on peut écrire :

$$CdV = -idt. \qquad (2)$$

Multiplions les égalités (1) et (2) membre à membre; il vient :

$$CVdV = -Ri^2dt - Li\frac{di}{dt}dt, \qquad (3)$$

et, en intégrant les deux membres de o à t,

$$\frac{1}{2}C(V_0^2 - V^2) = \int_0^t Ri^2dt + \frac{1}{2}Li^2; \qquad (4)$$

$i_0 = 0$, si l'on compte le temps à partir du début de la décharge; V_0 est égal à la différence de potentiel à laquelle on a chargé le condensateur, c'est donc le potentiel explosif de l'excitateur principal.

Les deux termes du second membre sont essentiellement positifs; donc à un instant quelconque de la décharge, on a :

$$V^2 < V_0^2.$$

Donc, *pendant la décharge du condensateur, la différence de potentiel entre les armateurs, est toujours inférieure au potentiel explosif de l'excitateur principal.*

Il reste à montrer qu'à un instant quelconque la différence de potentiel v entre les boules de l'excitateur dérivé est toujours égale ou inférieure à la différence de potentiel des armatures.

On peut écrire :

$$v = ri + l\frac{di}{dt}; \qquad (5)$$

mais, $r < R$, $l < L$, et i et $\frac{di}{dt}$ sont de même

signe au début de la décharge (¹), donc,

$$v < V.$$

C. Q. F. D.

Le début d'une décharge par étincelle est un phénomène très compliqué : avant la décharge et à l'instant où celle-ci commence, le milieu qui sépare les pôles de l'excitateur principal est un diélectrique dont la résistance est infinie; l'isolant s'échauffe et sa résistance diminue à mesure que la température de l'étincelle s'élève. Cette température dépend évidemment des dimensions du conducteur lumineux qui constitue l'étincelle, par conséquent de sa longueur et de sa section. Le potentiel maximum entre deux points du circuit étant atteint dans les premiers instants de la décharge dépend, non seulement des propriétés du circuit métallique, mais encore : 1° du potentiel explosif de l'excitateur principal, par conséquent de toutes les circonstances qui modifient ce potentiel; 2° des dimensions de l'étincelle principale et des propriétés de l'isolant. *La distance explosive du potentiel maximum sera donc sujette à des variations plus étendues que la distance explosive statique.*

Le potentiel maximum ne dépendant que des propriétés du circuit de décharge *est indépendant des conditions physiques dans lesquelles l'excitateur dérivé est placé.*

§ V. — Principe de la méthode

Pour résoudre la question de l'égalité des potentiels explosifs statique et dynamique d'une manière rationnelle, il faudrait mesurer, avec un électromètre, le potentiel explosif de l'excitateur chargé : 1° par une méthode statique; 2° par une méthode dynamique, et comparer les résultats.

Ceci est malheureusement impossible. Un électromètre comprend essentiellement un organe métallique mobile dont on observe la position d'équilibre par rapport à un deuxième organe fixe; de cette position d'équilibre on déduit la différence de potentiel entre les deux organes fondamentaux de l'électromètre. Une mesure de potentiel est donc par essence une mesure électrostatique et devient inapplicable dans une charge dynamique par une décharge de condensateur. On pourrait tourner la difficulté par une méthode stroboscopique, mais cette méthode ne serait guère applicable qu'aux décharges de bobines de Ruhmkorff.

Nous démontrerons d'abord que, dans la méthode ordinairement suivie pour déterminer un potentiel dynamique par le procédé des étincelles, les potentiels explosifs statique et dynamique d'un excitateur placé dans des conditions quelconques ne sont pas, en général, égaux entre eux.

Cette démonstration peut se faire à l'aide d'expériences basées sur les considérations suivantes :

Soit un excitateur se déchargeant pour un potentiel statique V; sa distance explosive est d_1, s'il est placé dans les conditions 1; elle est d_2, s'il est placé dans les conditions 2.

Si cet excitateur se décharge pour le potentiel dynamique V', sa distance explosive est d'_1, s'il est placé dans les conditions 1; elle est d'_2, s'il est placé dans les conditions 2.

Dans l'hypothèse que les potentiels explosifs statique et dynamique d'un excitateur placé dans des conditions identiques, mais quelconques, sont égaux entre eux, nous aurons :

$$V = V', \tag{1}$$

il en résultera

$$d_1 = d'_1, \tag{2}$$

et

$$d_2 = d'_2; \tag{3}$$

des égalités (2) et (3) on déduit :

$$d_2 - d_1 = d'_2 - d'_1 = d'_2 - d_1. \tag{4}$$

Appelons $d_2 - d_1$ la variation statique de la distance explosive d_1, $d'_2 - d'_1$ la variation dynamique de la distance explosive d'_1 sous

(¹) *Comptes rendus*, 16 juillet 1894.

l'influence du changement de conditions physiques 1, 2.

Le principe de l'égalité absolue des potentiels explosifs statique et dynamique entraîne la proposition suivante, vérifiable par l'expérience :

Quand on place un excitateur dans deux conditions physiques différentes, sa distance explosive subit des variations statique et dynamique identiques entre elles.

Si les variations statique et dynamique de la distance explosive sont inégales, les potentiels explosifs statique et dynamique ne sont pas égaux dans les deux conditions. Si on admet que les potentiels explosifs statique et dynamique sont égaux dans les conditions 1, ils sont inégaux dans les conditions 2 ; quand la distance statique est inférieure à la distance dynamique, le potentiel explosif statique est supérieur au potentiel explosif dynamique et inversement.

Pour appliquer ces considérations, il faut *décharger un excitateur pour le même potentiel (statique ou dynamique) quelles que soient les conditions dans lesquelles l'excitateur est placé.*

La chose est aisée pour les potentiels statiques.

Pour les potentiels dynamiques, il suffirait de déterminer la distance explosive qui correspond au potentiel maximum d'une décharge puisque ce dernier est indépendant des conditions dans lesquelles l'excitateur est placé.

A priori il semble que cette distance se confonde en toutes circonstances avec *la distance critique* de l'excitateur dérivé, c'est-à-dire la distance maximum à laquelle on peut éloigner les pôles de ce dernier pour qu'on puisse y observer une étincelle, lorsque l'étincelle principale éclate en I, mais pour cela il faudrait que, pour la distance critique, l'étincelle éclatât toujours au potentiel maximum.

Il en serait ainsi si l'on pouvait étendre aux potentiels dynamiques cette proposition générale des potentiels statiques : la distance explosive est une fonction croissante des potentiels explosifs. On verra, dans une autre partie de cette étude, que cette extension n'est pas toujours légitime.

La méthode des deux excitateurs dérivés évite toute objection de ce genre et résout d'une façon très générale le problème posé.

§ VI. Méthode des deux excitateurs dérivés

Pour charger deux excitateurs au même potentiel, par la méthode statique, il suffit de les réunir métalliquement pôle à pôle. La charge de deux excitateurs au même potentiel dynamique se fait d'après les principes suivants. Considérons un fil entièrement métallique parcouru par une décharge ; choisissons sur ce fil quatre points N_1, N_2, E_1, E_2, de la façon suivante (fig. 6) : N_1 et N_2

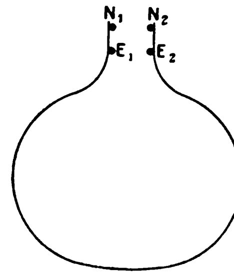


Fig. 6.

comprennent entre eux une certaine longueur de fil ; N_1 est placé très près de E_1, N_2 très près de E_2 de façon que les segments de fil $N_1 N_2$, $E_1 E_2$ aient une résistance et un coefficient d'induction très voisins. Dans ces conditions, si aucune étincelle n'éclate entre les deux points $N_1 N_2$, $E_1 E_2$, la différence de potentiel entre les points $E_1 E_2$ est à chaque instant la même qu'entre N_1, N_2.

Entre les points N_1, N_2 la différence de potentiel est :

$$v_N = r_1 i + l_1 \frac{di}{dt},$$

r_1 désignant la résistance du segment $N_1 N_2$, l_1 le coefficient d'induction de tout le circuit sur ce segment, i le courant, t le temps.

Entre les points E_1, E_2 la différence de potentiel est :

$$v_E = r_2 i + l_2 \frac{di}{dt},$$

r_2 désignant la résistance du segment E_1 E_2 et l_2 le coefficient d'induction de tout le circuit sur ce segment.

Si l'on peut poser :

$$r_2 = r_1 + \varepsilon, \qquad l_2 = l_1 + \gamma_1,$$

ε et γ_1 étant respectivement très petits par rapports à r_1 et à l_1, on a :

$$v_E = r_1 i + \varepsilon i + l_1 \frac{di}{dt} + \gamma_1 \frac{di}{dt}$$

$$v_E = v_N + \varepsilon',$$

$\varepsilon' = \varepsilon i + \gamma_1 \frac{di}{dt}$, étant une quantité très petite par rapport à $r_1 i + l_1 \frac{di}{dt}$.

Donc, *dans ces conditions, entre les points* E_1, E_2 *et* N_1, N_2, *les différences de potentiel sont égales entre elles, à chaque instant de la décharge.*

Si on met les points N_1 N_2 respectivement en contact avec les pôles d'un excitateur N et les points E_1 E_2 en contact avec les pôles d'un excitateur E, les deux excitateurs E et N dérivés sur le circuit de décharge sont chargés à chaque instant au même potentiel.

Cela posé, considérons deux excitateurs chargés à chaque instant au même potentiel *par un mode de charge statique ou dynamique tel que le potentiel croisse avec le temps.* Si une étincelle éclate au premier et non au second, c'est que le potentiel explosif du premier est atteint avant le potentiel explosif du second ; les potentiels les plus petits étant atteints les premiers, le potentiel explosif du premier est plus petit que le potentiel explosif du second.

En maintenant le potentiel explosif de N constant et faisant varier progressivement la distance explosive de E on détermine pour E deux distances explosives d_1 et d_2 aussi voisines que possible et telles que pour l'une d_1 le potentiel explosif V_E de E soit inférieure au potentiel explosif V_n de N ; pour l'autre d_2, V_E soit supérieure à V_n, de sorte que la distance explosive de E pour laquelle les potentiels explosifs V_E et V_n sont égaux est comprise entre d_1 et d_2.

En plaçant l'excitateur N dans des conditions physiques constantes et en le chargeant par un mode de charge invariable on maintient le potentiel explosif de N constant ; en modifiant les conditions dans lesquelles l'excitateur E est placé, *on pourra déterminer la distance explosive d'un excitateur* E *placé dans des conditions physiques données et se déchargeant pour un potentiel quelconque mais constant.*

Cette méthode a été employée plusieurs fois pour les décharges statiques, je l'appellerai *méthode des deux excitateurs dérivés.*

Réalisation expérimentale. — La méthode des deux excitateurs dérivés est employée de la façon suivante (fig. 7).

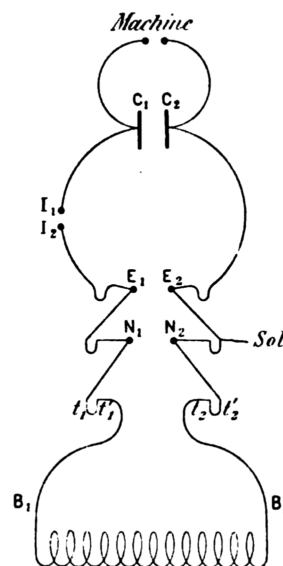


Fig. 7.

Prenons une jarre d'armatures C_1, C_2, un excitateur I, de pôles I_1, I_2, deux excitateurs dérivés E et N, dont les pôles E_1, E_2 et N_1, N_2 sont montés sur isolant, et une bobine dont les extrémités sont désignées par B_1, B_2 (1).

(1) Si l'on ne dispose pas de bobine traversable par des décharges, on peut y substituer une résistance électrolytique.

On fait communiquer les armatures C_1, C_2 avec les pôles d'une machine de Holtz et l'armature C_1 avec le pôle I_1; on relie métalliquement : 1° les pôles I_2, E_1, N_1 et l'extrémité B_1; 2° l'armature C_2, les pôles E_2 N_2 et l'extrémité B_2. Le milieu du fil N_2E_2 communique avec le sol (conduite d'eau). Les diverses communications métalliques entre les points précédemment cités se font par l'intermédiaire de tubes en U renfermant du mercure et montés sur paraffine. On voit que, par cette disposition, si une étincelle éclate en I, le condensateur se décharge à travers le circuit et charge *dynamiquement* les excitateurs E et N ; on peut disposer des distances explosives de E et de N de façon que, pour chaque étincelle qui éclate en I, on observe une étincelle en E ou en N, ou deux simultanément (1).

Si l'on jette un pont entre les pôles I_1, I_2, si l'on retire l'extrémité B_1 de la bobine de la branche t'_1 du tube t_1 t'_1 et si l'on tourne la machine de Holtz, on charge les excitateurs E et N par la *méthode statique*.

La disposition expérimentale est conforme aux principes précédemment établis. En effet : 1° pour la décharge considérée, la différence de potentiel entre les pôles des excitateurs dérivés est une fonction croissante du temps, au début de la décharge, page 5 ; 2° les pôles des excitateurs E et N sont à chaque instant chargés au même potentiel. Pour démontrer cette dernière proposition, nous ferons les considérations suivantes :

Les conducteurs N_1E_1 et N_2E_2, qui joignent respectivement les deux pôles positifs et les deux pôles négatifs des excitateurs dérivés, sont formés de deux fils de cuivre sensiblement rectilignes, de 30 cm de long sur 1 mm de diamètre plongeant dans les deux branches d'un tube en U renfermant du mercure. La bobine B_1B_2 est faite avec le même fil de cuivre qui a une longueur totale de 40 m environ. Les coefficients d'induction des fils N_1 E_1 et N_2 E_2 sont évidemment négligeables devant la self-induction de la bobine; leur résistance est de l'ordre du $\frac{1}{40}$ de celle de la bobine.

Si la différence de potentiel aux extrémités de la bobine était formée surtout du premier terme de la formule :

$$v = ri + l\frac{di}{dt},$$

c'est-à-dire de ri, la différence de potentiel entre les pôles E_1, E_2 et N_1, N_2 serait de l'ordre du $\frac{1}{40}$ de la différence de potentiel totale, ce qui est une quantité nettement appréciable.

Si, au contraire, le terme $l\frac{di}{dt}$ joue un rôle prépondérant dans la formation du potentiel entre E_1, E_2 et N_1, N_2, les différences de potentiel seront les mêmes ou, tout au moins, présenteront des écarts négligeables que l'expérience sera incapable de mettre en évidence.

Voici quelques expériences montrant bien

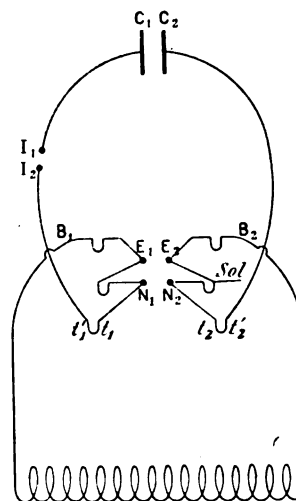


Fig. 8.

que les conditions théoriques sont satisfaites dans la disposition expérimentale adoptée et que le terme ri ne joue aucun rôle appréciable dans la formation du potentiel.

(1) On évite les étincelles simultanées; on n'en observe que très rarement par les temps secs, si la distance explosive de l'excitateur principal I, formé de deux sphères de 2 cm de diamètre, est inférieure à 5 ou 6 mm.

Expérience. — Prenons deux cas extrêmes : 1° joignons directement le pôle principal I_2 au pôle E_1 et l'armature C_2 au pôle E_2 ; N_1 N_2 communiquant directement avec B_1 B_2 (fig. 7); 2° joignons directement le pôle I_1 au pôle N_1 l'armature C_2 au pôle N_2, E_1, E_2 communiquant avec B_1B_2 (fig. 8).

Dans le premier cas, E_1 E_2 forment les extrémités de [conducteur E_1 N_1 + B_1 B_2 + conducteur N_2 E_2], et N_1, N_2 forment les extrémités de la même résistance B_1B_2.

Dans le deuxième cas, E_1, E_2 forment les extrémités de B_1B_2 et N_1, N_2 forment les extrémités de [conducteur N_1E_1 + B_1B_2 + conducteur E_2N_2].

Suivant que l'on passe du premier cas au second, la différence des conducteurs introduits est de deux fois [conducteur E_1N_1 + conducteur E_2N_2].

L'expérience montre qu'il n'est pas possible de déceler la moindre différence entre ces deux positions extrêmes. Si l'étincelle éclate en E, dans le premier cas, elle éclate encore en E dans le second, quoique les potentiels de E et N soient aussi voisins que possible. On obtient encore le même résultat en intercalant entre N_2 et E_2 puis entre E_2 et C_2 un fil plié en zigzag, de façon à rendre sa self-induction insensible et dont la résistance est égale à la moitié de la résistance métallique du circuit total.

Donc, à un instant quelconque de la charge dynamique, les deux excitateurs dérivés sont chargés au même potentiel.

(*A suivre.*)

R. Swyngedauw,
Maître de conférences à la Faculté de Lille.

INSTALLATION
A COURANTS TRIPHASÉS
DU LABORATOIRE DE L'ÉCOLE SPÉCIALE DE MONS [1]

VII. Moteur

La figure 21 donne, en même temps que l'installation du moteur, une idée exacte de la disposition d'ensemble des machines et tableaux du groupe Schuckert à courants triphasés du laboratoire de Mons.

A gauche, on remarque le tableau primaire situé au-dessus du transformateur. Immédiatement après vient la *génératrice* mise en mouvement par une transmission souterraine et supportée par un massif en maçonnerie au ciment dont il a déjà été question. Elle est établie pour faire 1000 *tours par minute*. Entre la génératrice et le tableau secondaire, sur un massif spécial, se trouve le *moteur* muni d'une poulie bombée pour attaquer la transmission souterraine au besoin ou une dynamo quelconque. Il possède aussi une poulie plate à rebord pour frein de Prony. Il fait 950 *tours par minute* et il est construit pour développer 6 *chevaux*. A côté, sur un support en bois, se trouve la résistance de démarrage insérée dans les circuits inducteurs et le frein de Prony. Le moteur possède un induit de rechange à résistances variables que l'on peut intercaler dans ses circuits. Tout à droite se voient le tableau secondaire et le cadre des lampes à incandescence.

Nous allons passer en revue les différentes parties du moteur dans l'ordre suivant : le bâti, le système inducteur et la résistance *ad hoc*, l'induit ordinaire, l'induit spécial avec résistances de démarrage.

A. *Bâti, système inducteur et résistance avec inverseur du sens de la rotation du moteur.*

Le *bâti* en fonte est constitué par deux flasques d'extrémité *d* (fig. 22) constituant le corps des paliers et les pattes de fixation de la machine, et par un cylindre ajouré *e* s'assemblant aux flasques et supportant l'anneau conducteur *f*. Les parties ajourées des flasques et du cylindre sont garnies de tôles perforées.

Les coussinets des paliers sont en bronze, à rotule et supportés par les flasques et les boîtes rapportées à filet de vis sur ces dernières. Ces boîtes permettent l'introduction

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 256, 1er mai 1897.

des coussinets. Le graissage se fait par bagues en bronze mobiles avec l'arbre. Les dimensions des coussinets sont de 40×150 et 45×150 mm.

L'anneau inducteur est constitué par 620 tôles de 0,3 mm et de 2 tôles de 1,5 mm d'épaisseur. Le rapport de la section fer à la section totale est de 0,86. L'anneau est serré entre un rebord fixe du cylindre *e* et une couronne rapportée *k* en fer fixée sur le cylindre au moyen de vis à tête fraisée. Il porte 36 *rainures* pour l'enroulement des circuits inducteurs.

Les flasques et le cylindre central sont

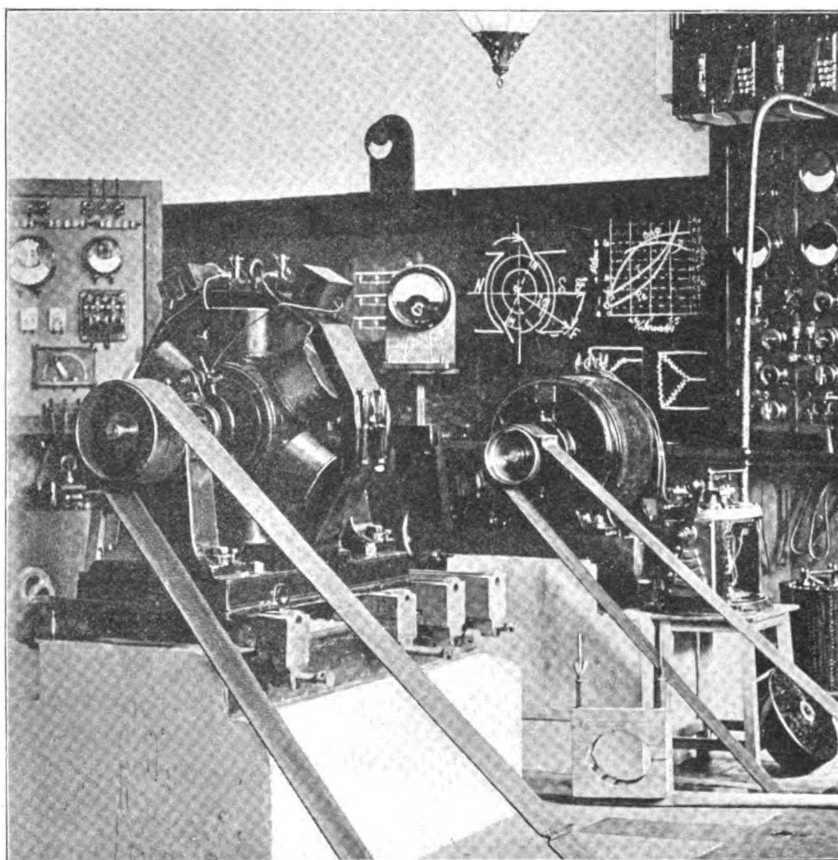


Fig. 21.— Disposition d'ensemble des machines et tableaux du groupe Schuckert triphasés du laboratoire de Mons.

assemblés au moyen de prisonniers dont un est visible sur la figure 22.

L'espace occupé par l'enroulement est indiqué par *h*.

Le *bobinage de l'inducteur* est représenté aux figures 24 et 25. Le circuit II est complet. Il comprend trois bobines dont la première occupe les rainures ou encoches II_1, 1, 2, 3, 4, les autres les encoches II_2 et II_3. Chaque encoche contient 12 fils de façon que *chaque bobine à* 48 *fils ou* 24 *spires*, chacun des trois circuits 144 et l'ensemble 432 fils.

Nous croyons les figures suffisamment claires pour nous éviter une description plus étendue.

L'enroulement est en étoile dont le point neutre est O.

Les fils de liaison sont massés en forme d'arcs de cercles sur les faces de l'inducteur.

La *résistance* du circuit est de 0,108 *ohm par phase* (branche) et le diamètre du fil est de 3,6 mm.

La figure 26 est le développement d'une partie de la surface intérieure de l'anneau.

Nous avons dessiné à côté, sur la figure 25, avec les fils de liaison, la *résistance de démarrage* pouvant produire le renversement du sens de rotation du moteur. Cet appareil est aussi représenté par la figure 28, à droite et en bas.

Les trois bornes 1, 2, 3 sont reliées à celles du tableau secondaire par le gros câble vertical visible sur la figure 21 et les trois bornes I, II et III sont en communication avec celles des moteurs. Les premières sont connectées aux plots *a*, *c* et *h* des trois résistances variables et les dernières aux barres *b*, *d* et *i*, II et III par l'intermédiaire de l'inverseur spécial *x'*.

Sur la figure, les bras manœuvrés par la manette *t* reposent sur trois bandes isolantes *o*, *p*, *q*. Quand on tourne le système,

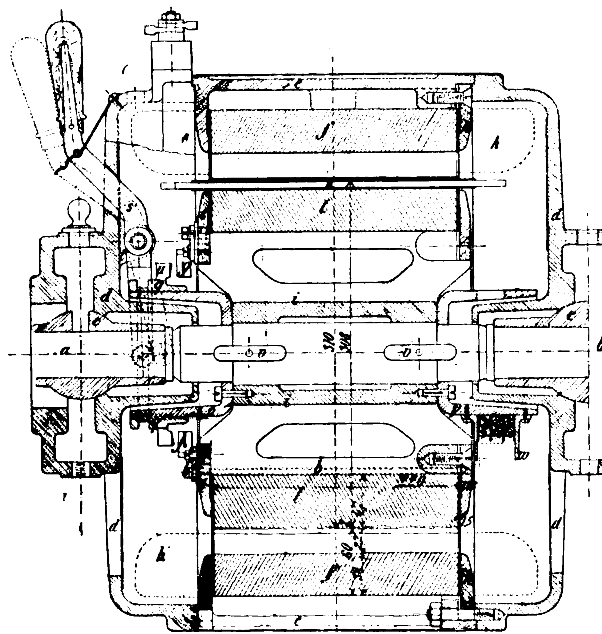


Fig. 22. — Coupe longitudinale du moteur et de son induit ordinaire à résistances fixes de démarrage.

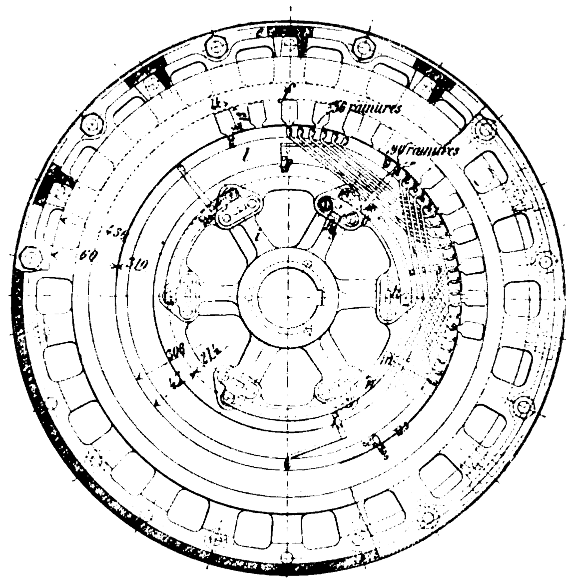


Fig. 23. — Coupe transversale et profil du moteur et de son induit ordinaire à résistances fixes de démarrage.

des balais *r* et *s* viennent poser, les balais *r* sur une bande conductrice, les balais *s* sur un plot conducteur, introduisant dans chacun des circuits une résistance qui va en diminuant du premier au septième plot.

Le levier inverseur *x'* peut occuper alternativement deux positions différentes. Un buttoir *w*, s'enfonçant dans le trou 1 ou 2 de la tête *x*, fixe le levier et en empêche tout mouvement avant d'avoir coupé les trois circuits et ramené les bras aux extrémités des plots isolants. Pour arriver à ce résultat, une petite tige cylindrique *u*, portée par l'un des bras, s'engage dans une coulisse oblique *v* et retire le buttoir à fin de course. On peut alors renverser le levier *x'*, 1 vient en 1' et 2 en 1, le buttoir pénètre dans 2 quand on met en marche (le sens de rotation du moteur change) et le levier est fixé dans sa nouvelle position.

Les barres *m* et *n* étant construites en matière isolante, la figure rend bien compte du renversement du sens de deux des courants par la manœuvre du levier inverseur.

Comme on le voit, la disposition règle l'introduction d'une résistance décroissante dans chacun des circuits, le renversement du sens de deux des courants et elle ne permet ce renversement qu'après que les circuits ont été coupés à la suite de l'augmentation progressive de leur résistance.

La figure 28 rend compte de la construction de la résistance de démarrage. Les trois

circuits y sont constitués chacun par une bande en maillechort, roulée en spirale, portant de distance en distance des prises de courant allant aux différents plots. L'isolant

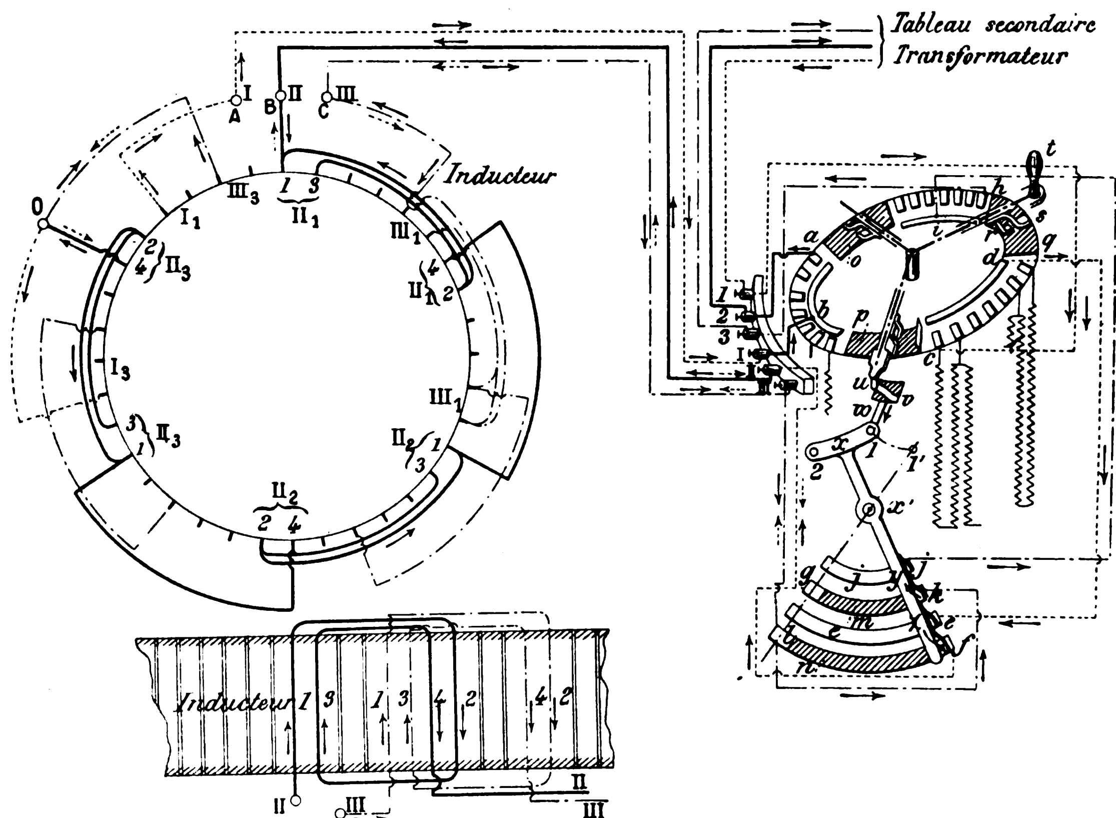


Fig. 24, 25 et 26. — Enroulement de l'inducteur et résistance variable avec inverseur du sens de rotation.

employé est l'asbeste que l'on voit se profiler en blanc à l'intérieur de l'appareil.

B. *Induit ordinaire avec résistances fixes additionnelles au démarrage du moteur.*

Il est représenté aux figures 22 et 23. Le noyau est formé de 620 tôles de 0,3 mm et 2 de 1,5 mm d'épaisseur, isolées au papier, et serrées entre le rebord fixe du croisillon *i* en bronze et une couronne *m*, également en bronze, vissée sur ce dernier. Le rapport de la section fer à la section totale est de 0,86.

Le noyau est creusé de 90 *rainures* ou *encoches* contenant chacune une barre du bobinage de l'induit.

Le croisillon en bronze est calé sur l'arbre en acier *ab* au moyen de deux clavettes *v*. Les bras, au nombre de six, sont obliques de manière à produire un courant d'air qui refroidit l'induit.

C'est l'extrémité *b* de l'arbre qui porte la

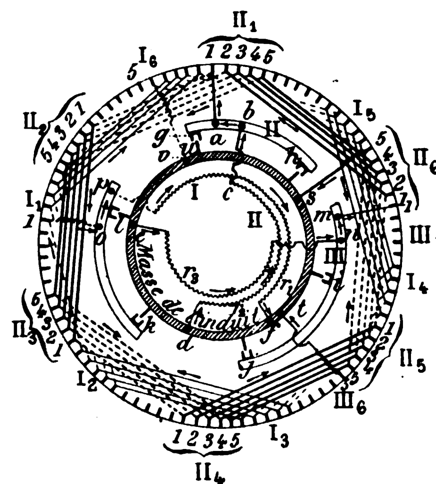


Fig. 27. — Enroulement de l'induit ordinaire à résistances fixes de démarrage.

poulie motrice. Le bobinage est dessiné sur

les figures 22, 23 et 27, principalement sur cette dernière. C'est là que nous allons en suivre la description.

Considérons le circuit II qui est complet. Le fil partant de *a*, sur la barre de cuivre isolée *g h*, va en II_1 1 où il pénètre dans une encoche, puis en II_2 1 et ainsi de suite pour aboutir, après cinq tours périphériques, en II_6 5 d'où il se fixe à la masse du noyau, en *s*, sur le croisillon en bronze (voir aussi fig. 23).

Nous avons considéré six portions marquées II_1, et II_2..., dans l'enroulement d'une phase.

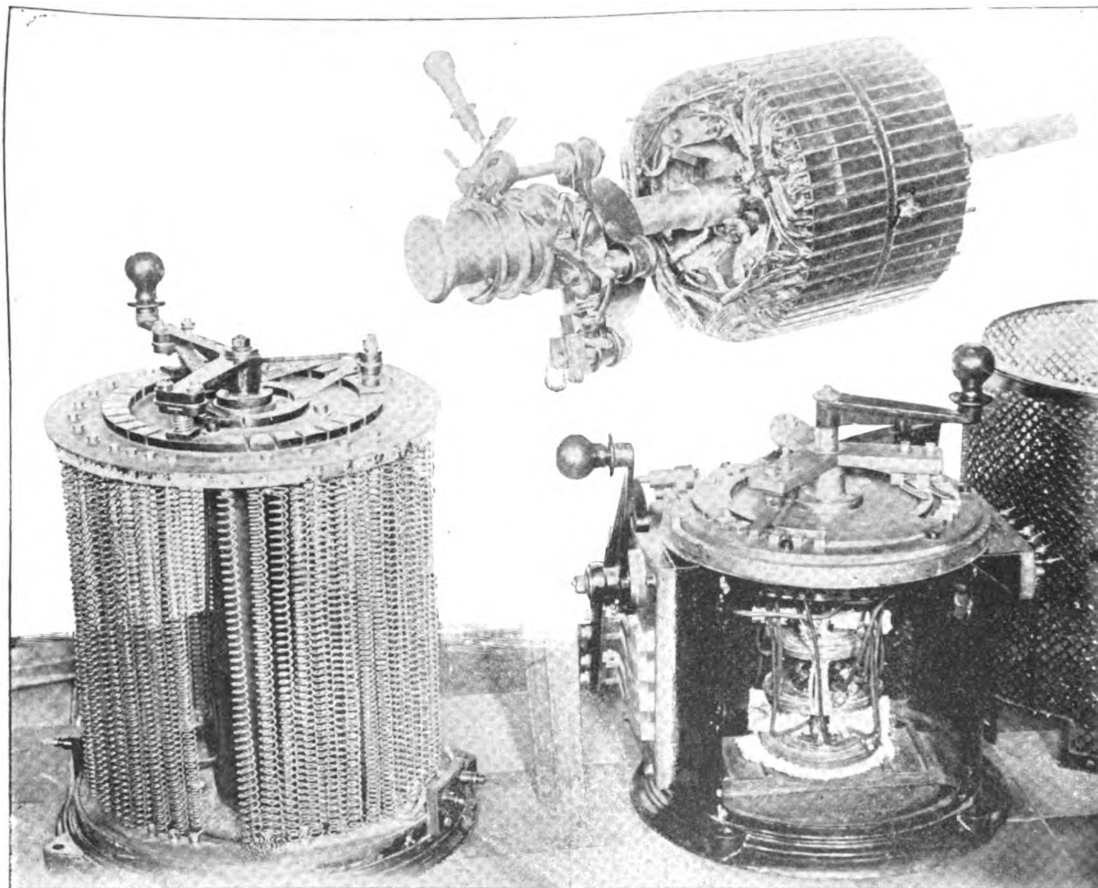


Fig. 28. — Induit spécial, résistances variables de l'induit spécial pour démarrage et résistances variables de l'inducteur.

Les deux autres circuits partent de *o* sur *p k* et *m* sur *i j* pour aboutir également à la masse en *v* et *t*. Les trois courants se réunissent donc à la masse par une extrémité des circuits.

En marche normale, les trois points *a*, *o* et *m* sont aussi réunis électriquement au moyen du collier *u* marqué « masse de l'induit », qui est le collier *q* de la figure 22. En le poussant en avant, les taquets *u* pénètrent dans les fourches *g*, *h*, ..., en réunissant en quantité les trois autres extrémités des circuits de l'induit qui sont ainsi connectés *en étoile*.

Au démarrage, les résistances r_1, r_2 et r_3 sont mises en tension avec les trois circuits. Le collier *u* est retiré des fourches. Les courants passent alors de *b* à *d*, de *p* à *f* et de *n* à *e*. Les points *b*, *p* et *n* sont sur les arcs conducteurs cités ci-dessus et les points *d*, *e* et *f* sont en communication électrique entre eux et avec la masse.

La *résistance du circuit de l'induit*, de *a* à S, est de 0,0208 ohm et celle d'une résistance additionnelle *r* de 0,08 ohm.

Voyons maintenant sur les figures 22 et 23 les détails de construction relatifs à l'enroulement.

Les barres *n* sont isolées au carton et ont 17,2 mm² de section. Elles sont à angles arrondis et leurs dimensions transversales sont 5,7 et 3 mm.

Le point *a* est une extrémité d'un circuit et *s* en est l'autre; le fil *s* est fixé au croisillon *i*; *g* est l'une des fourches donnant contact avec les taquets *u* pour la mise en court-circuit, par le manchon mobile *q*, des résistances additionnelles *r*. Ce manchon est mû par le levier *s'* de démarrage, dont le tracé plein correspond à la position de mise en train, et le tracé pointillé à celle de marche normale.

Les points *b*, *p* et *n*, voisins de *a*, *o* et *m* sur les mêmes arcs conducteurs isolés, figurent les attaches des fils (*b*, *b*, fig. 22) isolés qui vont se fixer aux extrémités libres des résistances *r*, à l'arrière de l'induit, sur un manchon *p* fixé au croisillon. Les résistances *r*, en bande de maillechort ondulée de 10 × 0,5 mm, sont isolées au mica, et leurs extrémités intérieures sont réunies ensemble. Huit équerres *w*, en bronze, maintiennent les bobinages *r*, qui sont séparés par des cloisons en pâte d'amiante.

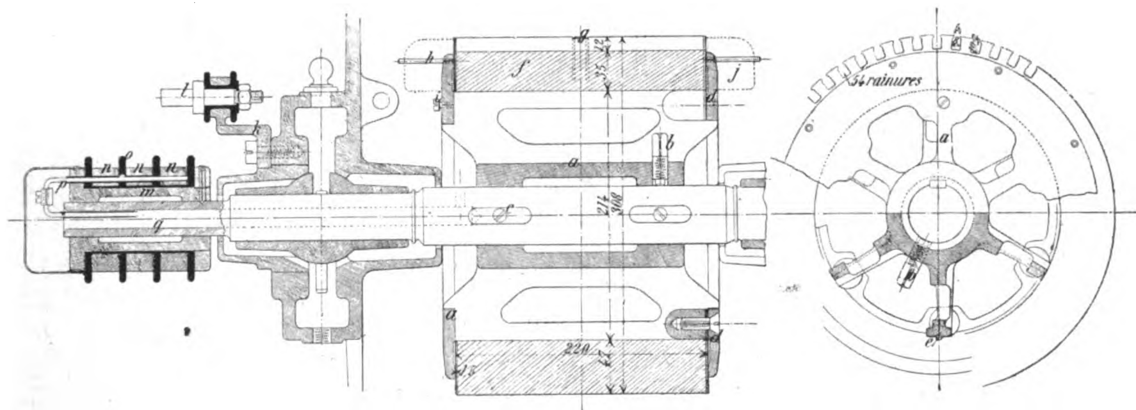


Fig. 29 et 30. — Coupes longitudinale et transversale, profil de l'induit spécial à résistances variables de démarrage.

C. — *Induit spécial avec résistances de démarrage variables.*

Cet induit est représenté aux figures 28, 29 et 30, les résistances sur la figure 28, à gauche.

La structure du noyau est la même que celle du premier induit, sauf cette différence qu'il y a ici 54 encoches au lieu de 90. Des vis *b* fixent l'arbre latéralement; un sertissage *g* et des broches *h* maintiennent l'enroulement.

Les rainures des deux induits sont un peu *obliques* par rapport à la direction de l'arbre.

Des 6 extrémités des 3 circuits, 3 se fixent à des vis *i* et sont ainsi réunies par la masse de l'induit. Les 3 autres pénètrent dans l'arbre par 3 trous aboutissant à un vide central *q* et vont chacune à une bague en cuivre *n* isolée. Sur ces bagues frottent des balais supportés par des axes *l* et une pièce en fonte *k* commune. Le montage des balais est montré par la figure 28.

L'*enroulement de l'induit* est détaillé sur la figure 31. Le circuit II y est dessiné complètement.

De la bague *a*, le fil passe à l'induit où il constitue successivement les bobines II_1, II_2 et II_3, puis il se fixe à la masse de l'induit *d* (fig. 31) par une des vis *i* (fig. 29). Le bobinage est exécuté de même pour les phases I et III.

Nous avons marqué des lettres A, B et C 3 bornes intermédiaires en communication avec les balais de l'induit et nous les avons réunies à l'une des bornes D, E et F des 3 *résistances de démarrage*. Ces dernières sont enfermées dans une même enveloppe cylindrique, et leur graduation est obtenue à l'aide d'un axe à trois bras et à manette analogue à celui des résistances des circuits inducteurs.

Les plots *m*, *n* et *p* sont en matière isolante ; les points *e* et *f*, *g* et *h*, *i* et *j* sont mis en communication, avec les bornes des plaques D, E et F par des fils intérieurs isolés qu'indique la figure, et entre eux par les balais *r* et *s* des bras mobiles et des portions variables des résistances intercalaires.

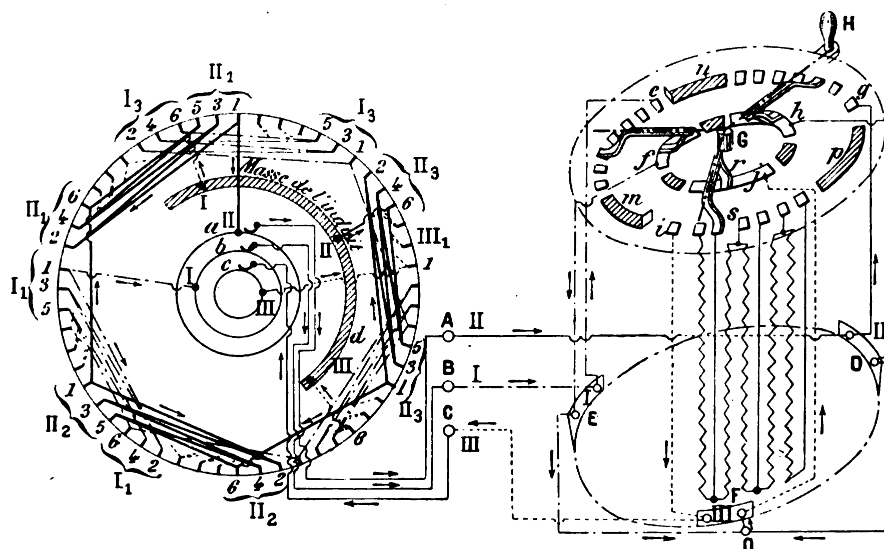


Fig. 31 et 32. — Enroulement de l'induit spécial et résistances variables de démarrage.

Les 3 bornes libres de D, E et F sont réunies ensemble en O par des fils volants pour faire le second point neutre de l'enroulement, le premier étant la masse du noyau. Le bobinage est donc encore ici du type *en étoile*.

Comme on le voit, une phase comprend 3 bobines à 6 encoches. Chaque encoche contenant 5 fils, il y a 30 *fils par bobine*, 90 par circuit et 270 pour l'induit. Le fil a 2.5 mm de diamètre et la *résistance* par circuit est de 0,14 ohm.

Nous avons terminé la description des principaux appareils à courants triphasés du laboratoire de Mons. Nous espérons avoir bientôt les loisirs suffisants pour les expérimenter complètement et pour continuer la description des autres machines ou appareils intéressants du même laboratoire.

S. Hanappe.

MESURE

DES

FORCES ÉLECTROMOTRICES (1)

MÉTHODES DE DÉVIATION

ÉTALONNAGE DES GALVANOMÈTRES A MIROIR

Les méthodes que nous venons d'examiner s'appliquent toutes aux courants constants. Il arrive très fréquemment que l'on a besoin de mesurer, assez exactement, des forces électromotrices soumises à des variations irrégulières et assez rapides ; dans ce cas, il faut

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 24 avril, p. 205.

avoir recours aux appareils étalonnés ; mais ceux-ci ont, en général, une sensibilité déterminée, ils ne se prêtent pas toujours à la grandeur du phénomène à mesurer. Une solution, très employée, consiste à étalonner un galvanomètre à miroir, à déviations proportionnelles, au moyen d'une force électro-motrice connue, et à s'en servir alors comme d'un voltmètre en faisant varier la sensibilité au moyen d'un shunt et d'une boîte de résistances.

Il est évident que, là encore, on mesure une force électromotrice en fonction d'une intensité et d'une résistance ; il est donc très

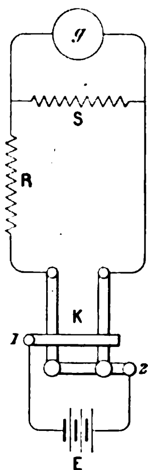


Fig. 4. — Méthode de déviation.

simple d'obtenir E en faisant le produit R I; cette solution est évidemment la plus commode quand il s'agit d'une seule mesure; mais, quand l'appareil doit servir à une série de mesures, il vaut mieux compliquer un peu l'étalonnage et les calculs du début, pour simplifier les mesures par la suite ; on calcule généralement la valeur du shunt et de la résistance pour que chaque division de l'échelle représente un multiple, ou une fraction, simple du volt.

Le galvanomètre *g*, (fig. 4), est relié au shunt S et à la boîte de résistances R. Une clef d'inversion K permet de mettre la pile étalon E, ou la force électromotrice à mesurer, en relation avec le galvanomètre.

Le galvanomètre employé doit avoir une formule de mérite d'au moins un megohm ; il doit être suffisamment amorti et avoir une durée d'oscillation très courte ; pour toutes ces raisons, on choisit généralement les galvanomètres à cadre mobile.

Comme la résistance du circuit total doit être aussi élevée que possible, pour se rapprocher pratiquement du circuit à résistance infinie, il faut placer en R une boîte de 1 à 10 000 ohms, au moins ; si l'on peut aller jusqu'à 100 000 ohms cela n'en vaut que mieux. Le shunt S est constitué, soit par le shunt ordinaire de l'instrument, soit, ce qui est plus commode, par une boîte de résistances, pouvant varier depuis 1 ohm jusqu'à la valeur de *g*. Ces deux boîtes doivent être étalonnées exactement ; de simples rhéostats ne suffisent pas.

La clef d'inversion K peut être quelconque, mais nous recommandons beaucoup, pour cette application, l'emploi de l'inverseur à mercure ; c'est le meilleur moyen d'éviter les faux contacts et les erreurs qu'ils amènent.

On prend généralement comme étalon l'élément Daniell, du Post-Office ; on peut aussi mesurer très exactement la force électromotrice d'une pile constante, ou mieux encore d'un accumulateur, et se servir ensuite de cette pile comme étalon ; la petite complication qui résulte de cette méthode est bien rachetée par l'exactitude des résultats. Il ne faut pas oublier que la méthode de déviation est beaucoup plus rapide que les précédentes et que, pour des mesures nombreuses, on a avantage à procéder ainsi.

Il faut d'abord faire l'étalonnage du galvanomètre. Pour cela, on met en R la plus grande résistance possible, puis, reliant la pile étalon aux points 1 et 2, on règle la déviation du galvanomètre en agissant sur le shunt S ; comme ce dernier n'est pas toujours assez subdivisé pour permettre de donner à la déviation *d* la valeur exacte demandée, on arrête S à une valeur telle qu'une augmentation d'une unité fait dépasser cette déviation ; à ce moment, on finit le réglage en diminuant un peu R ; cette façon de procéder

***

permet de conserver à R la plus grande valeur possible.

On prend pour étalonner l'appareil, une déviation *d* aussi grande que possible, tout en restant dans les limites où le galvanomètre est proportionnel. Quand la déviation d'un galvanomètre à cadre mobile ne dépasse pas 15 p. 100 de la distance D, de l'échelle au miroir, la proportionnalité est généralement satisfaisante, mais il est cependant utile de s'en assurer. Cette vérification se fait très facilement avec les appareils disposés; il suffit de noter R, S, g et d pour différentes valeurs de la déviation et de calculer le rapport des intensités aux déviations. Quelquefois la proportionnalité persiste jusqu'à 0,4 D; dans ce cas, on peut réduire l'erreur de lecture en adoptant pour d une valeur plus grande. Pour se placer dans de bonnes conditions, il faut, bien entendu, que l'échelle soit perpendiculaire au rayon réfléchi à zéro. Quand le galvanomètre présente des déplacements de zéro causés soit par la viscosité du fil, soit par des variations extérieures, on inverse le sens du courant et on fait une nouvelle lecture; on prend alors la somme des deux déviations; quand la fixité du zéro est reconnue, il suffit d'une seule lecture.

Supposons, par exemple, qu'ayant un galvanomètre de 220 ohms de résistance et un étalon Daniell donnant 1,07 volt, nous voulions obtenir 107 divisions de l'échelle, soit 100 divisions par volt. Plaçant en R une résistance de 10 000 ohms, nous voyons que le shunt S doit être compris entre 150 et 151 ohms, nous choisissons 150 et nous réglons R jusqu'à 9 980, ce qui donne exactement 107 comme déviation. Ainsi étalonné, le galvanomètre est prêt pour toutes les mesures, depuis 0,5 jusqu'à 2 volts environ; pour changer la sensibilité, il est nécessaire de modifier R et S dans des conditions convenables.

Soit n le nombre de divisions par volt obtenu dans l'étalonnage, avec les valeurs g, R et S; pour obtenir une nouvelle sensibilité, n' divisions, il faudra donner à R et S d'autres valeurs, R′ et S′, telles que l'intensité, dans le galvanomètre, reste la même pour la même déviation; c'est-à-dire qu'on devra avoir :

$$\left(\frac{g+S}{S}R+g\right)n=\left(\frac{g+S'}{S'}R'+g\right)n';$$

comme il y a deux variables, plusieurs couples de valeurs peuvent satisfaire à cette égalité, mais il faut se rappeler que R doit toujours être aussi élevé que possible et que S ne peut ordinairement varier que ohm par ohm et non par fractions.

Le calcul par tâtonnements auquel on est conduit est une petite difficulté de la méthode; il est bon d'y insister.

Supposons d'abord que la valeur de R doive rester constante et que g est négligeable devant R; la valeur S'_1 qui satisfait le mieux aux conditions posées est :

$$S'_1=\frac{gSn'}{(g+S)n-Sn'},$$

on choisit la valeur entière de S′ qui approche le plus de S'_1 et avec cette valeur on calcule R′.

Si la résistance R avait dû être augmentée ou diminuée dès le principe, on lui aurait donné approximativement une valeur R'_1 et on aurait eu :

$$S'_1=\frac{gSn'R'_1}{(g+S)nR-Sn'R'_1}.$$

Dans les deux cas on a :

$$R'=\frac{S'}{g+S'}\left[\left(\frac{g+S}{S}R+g\right)\frac{n}{n'}-g\right].$$

Pour permettre, dans l'exemple précédent, de mesurer une différence de potentiel entre 100 et 200 volts, il faut réduire la sensibilité de façon à avoir une division par volt, $n=1$. Le calcul de S'_1 montre que le shunt devrait avoir environ 0,89 ohm, mais comme la boîte employée ne renferme pas de fraction d'ohm, il faut prendre $S'=1$; la valeur qu'il faut donner à R′ est donc :

$$R'=\frac{1}{220+1}\left[\left(\frac{220+150}{150}9980+220\right)100-220\right]$$
$$=11234.$$

En procédant systématiquement comme nous venons de le faire, on réduit au minimum les tâtonnements et on est sûr de se placer dans les meilleures conditions.

Indépendamment de l'erreur de lecture, cette méthode comporte, lorsqu'il faut changer la sensibilité, les erreurs systématiques dues à l'incertitude sur la valeur exacte de g; l'emploi d'un galvanomètre enroulé en fil de maillechort ou de manganin réduit beaucoup cette cause d'erreur. L'erreur commise sur la valeur de l'étalon de force électromotrice employé, est certainement la plus grande de toutes lorsqu'on fait usage de l'étalon Daniell; néanmoins, dans ces conditions, on peut encore espérer une exactitude finale de 0,5 à 1 p. 100, ce qui est très suffisant dans bien des cas.

VOLTAGES ÉLEVÉS

Quand les forces électromotrices à mesurer dépassent 200 ou 300 volts, on a généralement recours aux appareils étalonnés, en particulier aux électromètres; mais il faut graduer et vérifier ces appareils, ce qui exige des moyens particuliers.

Avec une source de courant continu et constant, de force électromotrice suffisante, et avec des boîtes de résistances dont la valeur est assez élevée, on peut employer la méthode précédente; il suffit de placer la résistance dans des conditions telles qu'elle ne puisse être détériorée.

Quelques laboratoires seulement sont outillés pour procéder ainsi; une méthode plus générale consiste à employer des courants alternatifs avec transformateurs pour élever le voltage.

Pour le cas qui se présente le plus fréquemment, celui des électromètres, la disposition suivante nous a toujours fourni de bons résultats.

Le circuit secondaire d'un transformateur, qui peut être une simple bobine d'induction, est relié à une série de bobines de résistances égales entre elles; l'électromètre à graduer étant placé aux bornes du transformateur reçoit une différence de potentiel élevée, tandis qu'un autre électromètre, préalablement bien étalonné, est mis en dérivation sur un certain nombre de bobines seulement. Il est bien évident qu'il suffit de multiplier les lectures faites sur l'électromètre étalon, par le rapport du nombre de bobines correspondant à chaque appareil, pour avoir le voltage aux bornes du premier.

On peut, soit laisser la force électromotrice secondaire constante, soit la faire varier en intercalant dans le primaire une bobine de self-induction variable par l'enfoncement d'un noyau de fer. Dans le premier cas, on fait varier les points d'attache du voltmètre à essayer, pour faire varier la différence de potentiel mesurée; dans le second cas, le rapport des indications des deux instruments reste constant.

Les bobines de résistances à employer doivent être enroulées en double et suffisamment sectionnées, tant pour réduire la self-induction négative du système, Σ CR², que pour diminuer la différence de potentiel entre deux fils voisins; le nombre de sections apparent peut d'ailleurs être moindre que le nombre réel, car il n'est pas toujours nécessaire, par exemple, de faire varier le rapport de 1 à 100, tandis qu'il est utile de sectionner en 100 parties, au moins, une résistance qui doit supporter 5 ou 6000 volts; cette observation est importante, car ce qui coûte le plus cher dans ce cas, ce sont les plots de la boîte et non les résistances elle-mêmes. L'emploi des bobines enroulées en double permet d'obtenir des sections rigoureusement égales, ce qui n'est pas possible avec des bobines ayant de la self-induction, que celles-ci renferment ou ne renferment pas de fer.

H. ARMAGNAT.

UN NOUVEAU SYSTÈME DE PLOMB FUSIBLE

Partout où des machines dynamo-électriques sont employées, la question des appareils de sûreté destinés à préserver les dynamos des conséquences funestes d'une surcharge éventuelle ou d'un court-circuit, acquiert une importance toute spéciale. La sécurité du service dépendant surtout du bon fonctionnement de ces appareils, il est tout naturel que l'on ait apporté, dès le début, à cette partie des installations électriques, un très grand soin; le grand nombre de différents types créés jusqu'à présent en est une preuve.

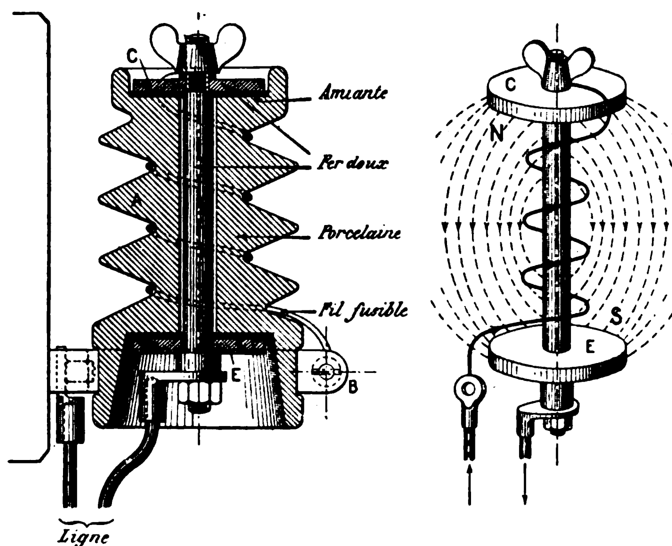


Fig. 1 et 2. — Nouveau système de plomb fusible.

Nous pouvons les diviser en général en deux groupes : 1° appareils qui interrompent mécaniquement le courant dès qu'il a atteint une certaine valeur ou qui ferment les électros en court-circuit dans les machines série pour annuler la tension; 2° appareils où l'interruption se fait par la fusion d'un fil. Ces derniers sont connus sous le nom collectif de *plombs fusibles*. Si l'on accorde aux interrupteurs automatiques certains avantages indiscutables, leur application est néanmoins quelque peu restreinte et ordinairement justifiée par des besoins spéciaux. Ainsi nous les trouvons surtout dans les usines de traction électrique où des surcharges se produisent plus fréquemment et où la remise en marche doit s'effectuer dans le plus bref délai. Dans la plupart des autres installations, au contraire, on emploie les plombs fusibles qui présentent le double avantage d'une grande simplicité et d'un prix très bas.

La construction des plombs fusibles n'offre aucune difficulté tant que l'intensité du courant et le voltage sont faibles et qu'on n'est pas limité par les dimensions qu'on peut donner à ces appareils. La difficulté ne se manifeste que quand on arrive à des tensions ou à des courants plus élevés et quand on ne dispose que d'un emplacement limité. Tel est le cas pour les plombs fusibles des voitures électriques. L'étincelle qui se produit à la fusion du fil, prenant ici des dimensions exagérées, il est à craindre qu'elle atteigne des pièces de contact voisines et occasionne une destruction inévitable, non seulement de l'appareil lui-même, mais encore de tout l'équipement électrique. En même temps les débris du fil sont projetés dans tous les sens; il se produit même quelquefois une véritable explosion qui arrache le couvercle du plomb fusible.

L'auteur a eu l'occasion, il y a quelques années, comme ingénieur de traction électrique, d'observer ces inconvénients et il est arrivé, à la suite de maintes expériences et d'études, à une solution qui donnait pleine satisfaction.

L'appareil en question n'étant pas publié jusqu'à présent et sa construction étant très peu connue, il nous a paru utile de donner ci-après un court exposé d'un dispositif que nous avons imaginé.

La figure 1 représente une coupe longitudinale. Le tambour A en porcelaine est

muni d'une rainure en forme d'hélice d'environ 25 mm de profondeur, dans laquelle est posé le fil fusible. L'un des bouts de ce dernier est relié à la bride B, qui sert en même temps de support pour A, et l'autre à la rondelle C en fer doux, laquelle est en communication avec le boulon, également en fer doux et la contre-rondelle E servant de borne.

Il est évident que cet appareil présente déjà dans la forme décrite, comparé aux autres en usage, des grands avantages, la longueur du fil fusible étant beaucoup plus grande pour un encombrement total donné. En outre, par suite de l'emplacement du fil dans les rainures profondes, la possibilité d'un court-circuit par la propagation de l'étincelle est presque complètement supprimée.

Cependant, le bon fonctionnement de cet appareil n'est pas dû seulement à sa construction, mais peut-être plus encore à sa disposition électrique qui joue le rôle de souffle-étincelles.

En se rapportant à la figure 2, on peut constater que pour le sens indiqué du courant la tige sera aimantée de façon que le bout inférieur E soit un pôle sud et le bout supérieur un pôle nord. Les lignes de force émanant de la rondelle C et allant de celle-ci à la plaque E exercent par conséquent une réaction sur l'enroulement qui tend à repousser le fil, ou si la fusion s'est produite, l'étincelle vers l'intérieur.

Par suite, toute propagation de l'étincelle est rendue impossible.

Nous nous permettrons, à ce propos, de citer un essai que nous avons fait et qui montre d'une façon bien nette l'efficacité du souffle-étincelle. Comme l'étincelle a toujours tendance à rétablir le circuit interrompu en prenant la route la plus directe, le tambour en porcelaine d'un tel appareil destiné à 1 500 volts et 30 ampères fut entouré d'une feuille en clinquant couvrant toute la longueur du fil fusible jusqu'à proximité des bornes. De cette façon on était, *a priori*, sûr que si l'action du souffle-étincelle n'existait pas ou était insuffisante, l'étincelle atteindrait la feuille et la fondrait immédiatement. Le résultat a cependant fourni la preuve de l'efficacité du système, car la feuille ne montra pas la moindre trace des vapeurs métalliques qui se dégagent à chaque fusion.

J. Fischer-Hinnen.

REVUE INDUSTRIELLE

ET DES INVENTIONS

Four électrique Patten.

Une série d'arcs électriques jaillissent entre des plaques de charbon C_1 taillées inférieurement en biseau et un bloc de charbon C_2, dont la surface supérieure est légèrement inclinée pour permettre aux matières traitées, introduites par la trémie O, de s'écouler facilement hors du four par le canal T. Un champ magnétique dirigé parallèlement à la surface du bloc C_2 et perpendiculairement aux arcs, repousse ceux-ci, par un effet électromagnétique, à l'une ou l'autre des extrémités des plaques C_1, suivant le sens du champ et le sens du courant alimentant les arcs ; en renversant successivement le sens du champ, on pourra donc faire mouvoir les arcs d'avant en arrière puis d'arrière en avant ; c'est là d'ailleurs l'innovation revendiquée par le brevet.

Les renversements successifs du champ pourraient être obtenus en actionnant les électro-aimants N et S par un courant alternatif. Mais, même avec les plus basses fréquences utilisées industriellement, il y aurait une perte assez considérable d'énergie dans les électro-aimants par courant de Foucault et hystérésis et, de plus, les arcs prendraient une position moyenne sans parcourir d'un bout à l'autre les plaques C_1. Aussi l'auteur a-t-il préféré employer un courant continu dont le sens est renversé par un inverseur

mécanique représenté au bas de la figure. Cet inverseur consiste en un vase cylindrique à parois isolantes, rempli d'un liquide isolant; deux plaques métalliques K_1 et K_2 plongées dans le vase sont mises en communication avec les pôles de la dynamo D qui alimente

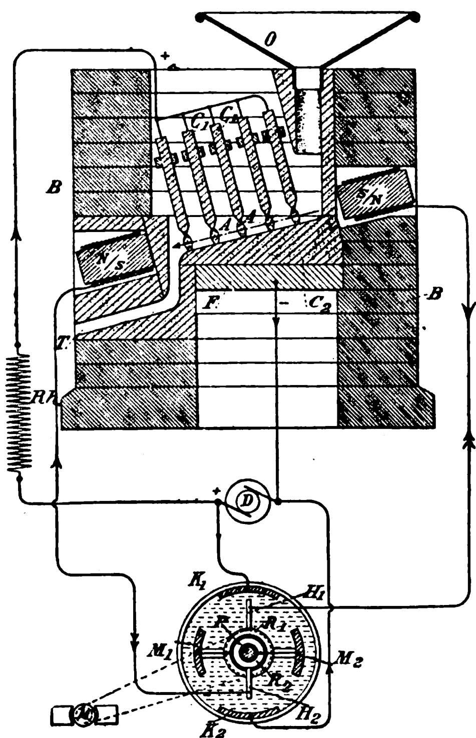


Fig. 1. — Four électrique Patten.

les arcs; au centre tourne, au moyen d'un moteur M, un arbre vertical portant deux bagues conductrices isolées R_1 et R_2 sur lesquelles frottent deux balais H_1 et H_2 reliés aux électro-aimants; ces bagues sont respectivement en communication avec deux plaques M_1 et M_2 tournant avec l'axe et venant frotter contre les plaques fixes K_1 et K_2; de cette façon le courant change de sens dans les électro-aimants à chaque demi-révolution de l'axe.

J. R.

Télégraphes de bord, système B. A. Fiske [1].

M. B.-A. Fiske, lieutenant de la marine de guerre des États-Unis d'Amérique, a décrit devant le United States Naval Institute les appareils suivants qu'il a inventés et qui, après un essai en service courant de plus d'une année, ont été adoptés à titre définitif sur les navires de guerre *Indiana, Massachusetts*, *Texas*, *Brooklyn*, etc., où ils ont donné pleine satisfaction.

Indicateur de direction. — Le but de cet appareil est d'indiquer à tout moment sur

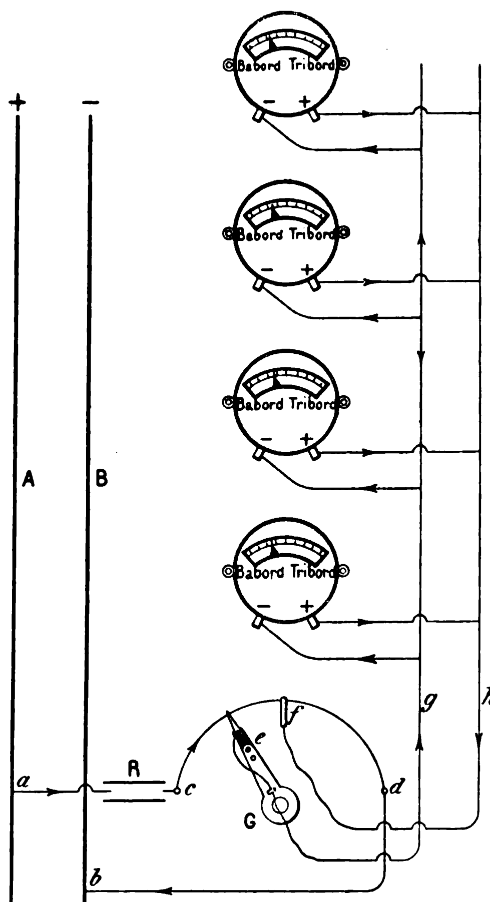


Fig. 1. — Indicateur de direction.

des cadrans répartis en différents points du navire la position exacte de la barre du gouvernail.

La figure 1 donne le principe sur lequel est basé son fonctionnement : une dérivation est prise en *a b*, sur un réseau à potentiel constant, tel que les canalisations d'éclai-

(1) *Engineering*, 4 décembre 1896 et 12 février 1897.

rage A B; une résistance R réduit l'intensité du courant dérivé à 2 ampères; entre les points c et d de cette dérivation est disposé un conducteur de grande résistance courbé en arc de cercle. Le milieu f de ce conducteur est relié au conducteur h, tandis qu'un contact mobile ou curseur e, qui se déplace avec l'axe G du gouvernail et qui vient frotter sur le conducteur $c\,d$, est relié à un second conducteur g. Sur ces deux conducteurs g et h sont montés en dérivation, aux points voulus, les cadrans indicateurs. Ceux-ci se composent (fig. 2) d'un galvanomètre genre

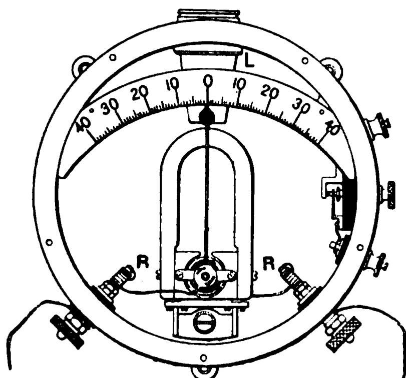


Fig. 2. — Indicateur de direction. Détail du récepteur.

d'Arsonval dont l'aiguille se déplace devant un cadran divisé qu'une lampe à incandescence L peut illuminer à volonté. Il est évident que la différence de potentiel entre les deux conducteurs g et h sera proportionnelle à la distance qui séparera le curseur e du milieu f du conducteur $c\,d$; elle changera de signe suivant que ce curseur sera à droite ou à gauche du point f. L'aiguille de chaque récepteur suivra donc en direction et en amplitude tous les mouvements de la barre du gouvernail.

Transmetteur d'ordres. — Le principe de cet appareil, qui a pour but de permettre au commandant d'indiquer au timonier, de différents points du bâtiment, la direction à donner à la barre, est le même que celui des appareils précédents (fig. 3). Chaque poste comprend un transmetteur et un récepteur; ce dernier a pour but de permettre au commandant de vérifier l'ordre qu'il transmet; il est identique à celui que représente la figure 2. Le transmetteur se compose d'un conducteur de grande résistance $a\,b$ parcouru par un courant de 2 ampères dérivé par l'intermédiaire de la résistance R sur la canalisation

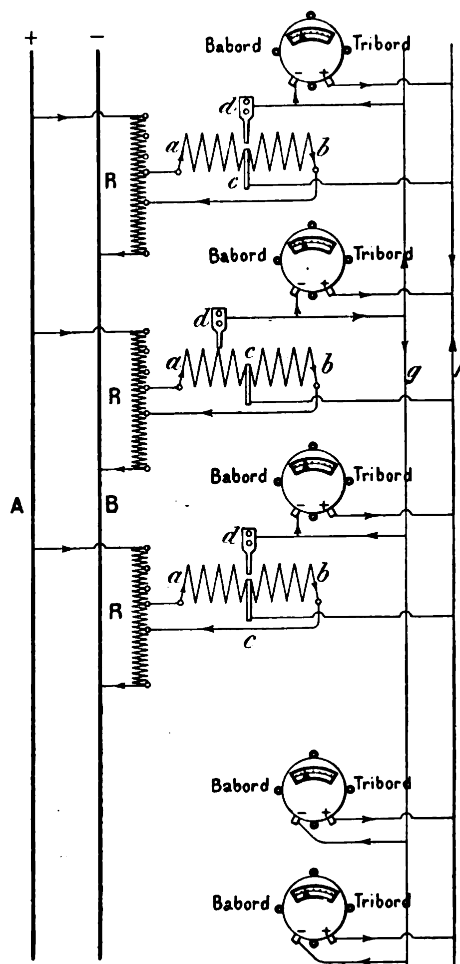


Fig. 3. — Transmetteur d'ordres. Schéma des communications.

d'éclairage A B. Ce conducteur est enroulé en hélice sur un cylindre isolant (fig. 4); son milieu est réuni à un des conducteurs h; ses deux extrémités sont en communication par des ressorts avec le circuit dérivé. Ce cylindre peut tourner sur son axe par l'intermédiaire des roues dentées commandées de l'extérieur par une manivelle M, dont l'axe est formé par une vis qui fait mouvoir le curseur d;

celui-ci vient frotter sur le fil conducteur comme dans le cas précédent et avec le même résultat. Comme il y a plusieurs transmetteurs et qu'un seul doit être utilisé à la fois, le conducteur *a b* est isolé en son milieu afin que tous les transmetteurs qui sont au repos soient isolés du circuit des récepteurs; sans cette précaution, les ordres transmis par un des appareils seraient troublés par les autres transmetteurs.

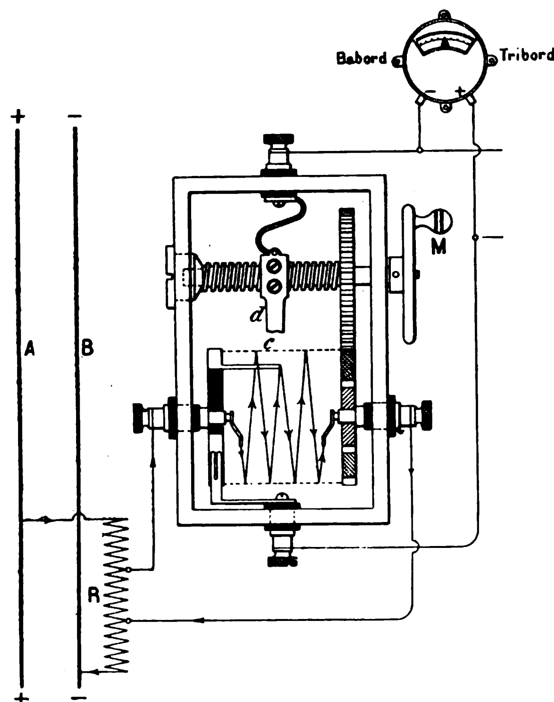


Fig. 4. — Transmetteur d'ordres. Détail du transmetteur.

Transmetteur d'ordres aux mécaniciens.— Cet appareil a pour but de permettre à l'officier de quart de transmettre, de la passerelle, aux mécaniciens, les ordres relatifs à la conduite des machines. Son fonctionnement est basé sur le principe du pont de Wheatstone (fig. 5). Une dérivation *a g*, *b h* munie d'une résistance de réglage R, est prise sur la canalisation d'éclairage A B; les extrémités des conducteurs dérivés aboutissent aux bornes d'un pont de Wheatstone dont les deux branches *g c d h* et *g c f h* aboutissent l'une à la salle des machines, l'autre à la passerelle. En ces deux points sont placés deux appareils identiques qui se composent chacun d'un fil métallique *c d* et *e f* de grande résistance, disposé en arc de cercle et sur lequel un curseur (*k* et *l*) peut être déplacé à la main; les deux curseurs *k* et *l* sont reliés par un conducteur dans lequel sont intercalés deux galvanomètres identiques G, G, placés respectivement auprès de chaque appareil. Les deux branches du pont sont d'égale résistance et la résistance des fils *c d* et *e f* est très grande par rapport à celle des fils de ligne *c g e* et *d h f*. Dans ces conditions, on voit que lorsque les deux curseurs *k* et *l* seront sur des points symétriques sur chacun des appareils, aucun courant ne passera dans le circuit des galvanomètres dont les aiguilles resteront au zéro. Si le commandant déplace le curseur *k*, les deux galvanomètres dévieront et, pour les ramener au zéro, le mécanicien devra ramener le curseur de l'appareil récepteur au même point que le curseur *k* occupe sur le transmetteur; les deux galvanomètres revenant alors au zéro, cela indique à l'officier que son ordre est compris et exécuté; les curseurs se déplacent (fig. 6) devant des cercles gradués portant les indications ordinaires : stop, en avant, en arrière, etc., ainsi que le nombre de tours de l'hélice désiré. Si le navire est à deux hélices, chaque transmetteur et chaque récepteur est muni de deux curseurs indépendants, l'un pour l'hélice de bâbord, l'autre pour l'hélice de tribord

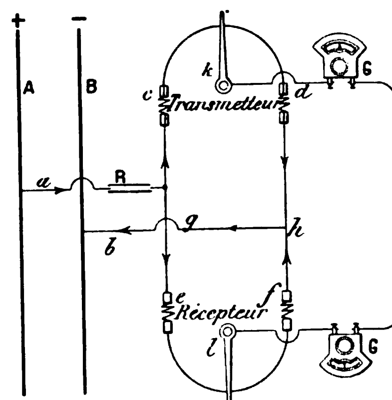


Fig. 5. — Principe du transmetteur d'ordres aux mécaniciens.

(fig. 6 et 7). La poignée du transmetteur est munie d'un contact automatique comman-

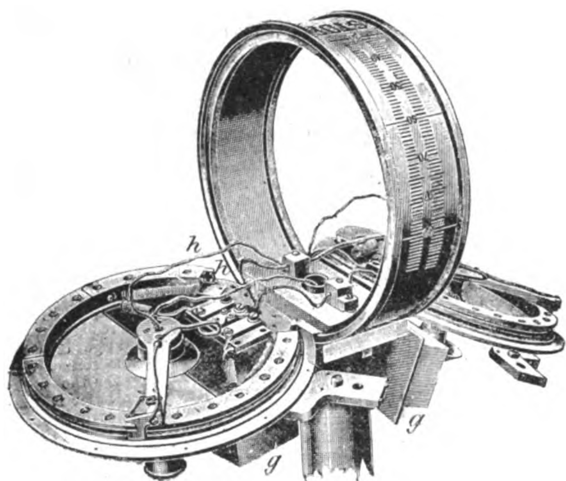


Fig. 6. — Transmetteur d'ordres aux mécaniciens. Vue d'ensemble de l'appareil.

dant une sonnerie pour éveiller l'attention du mécanicien.

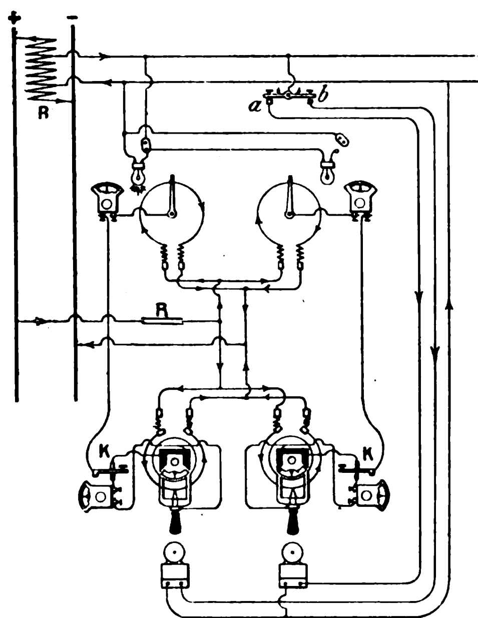


Fig. 7. — Schéma des communications pour un transmetteur d'ordres à bord d'un navire à deux hélices.

Indicateur de marche. — Afin qu'on puisse savoir à tout moment dans quelle direction tourne l'hélice et partant si l'on marche en avant ou en arrière, un aimant permanent, en fer à cheval N S (fig. 8) est monté par un collier, sur l'arbre de chaque hélice et perpendiculairement à son axe; en face de cet aimant se trouve une pièce de fer doux sur

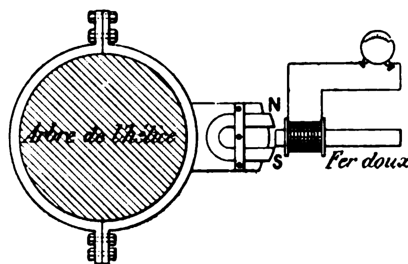


Fig. 8. — Indicateur de marche. Transmetteur.

laquelle est montée une bobine de fil isolé dont les extrémités communiquent avec un appareil récepteur (fig. 9) se composant d'un relais polarisé dont l'armature, pivotée en son milieu, commande une aiguille indicatrice. Le transmetteur forme une petite machine d'induction; lorsque l'arbre tourne de gauche à droite, le pôle S s'approchant d'abord du fer doux engendrera dans la bobine induite un courant d'un certain sens; le courant changera de direction lorsque, le mouvement

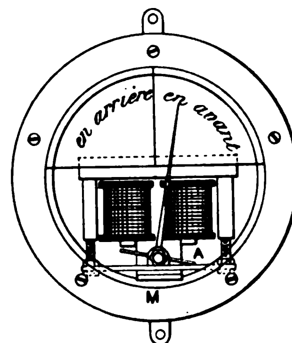


Fig. 9. — Indicateur de marche. Récepteur.

continuant, le pôle N s'approchera; il reprendra sa direction première lorsque le pôle N s'éloignera ; l'armature du relais polarisé formant le récepteur oscillera à chaque changement de sens du courant, mais elle restera collée au pôle de l'électro-aimant correspondant à la dernière direction du courant, après que celui-ci aura cessé; comme la durée du courant induit à chaque tour est très faible,

l'armature et partant l'aiguille indicatrice resteront dans cette position pendant la majeure partie du temps et indiqueront ainsi le sens de la marche puisque, si la rotation s'effectuait de droite à gauche, le dernier courant induit à chaque tour serait engendré par le pôle S s'éloignant, c'est-à-dire qu'il serait de sens contraire à celui qui avait été produit précédemment.

Indicateur de vitesse. — L'arbre de chaque hélice est muni de 6 pièces en fer doux également éloignées les unes des autres et qui viennent passer successivement devant un aimant permanent en fer à cheval, dont les deux branches sont munies de bobines, l'ensemble formant une petite machine de Clarke (fig. 10); les extrémités du circuit induit sont reliées à un électrodynamomètre (fig. 11); la déviation de l'aiguille de ce dernier, qui est fonction de l'intensité des courants engendrés et partant de la vitesse de rotation de l'hélice, sert à mesurer cette dernière au moyen d'une graduation faite expérimentalement pour chaque appareil. G. P.

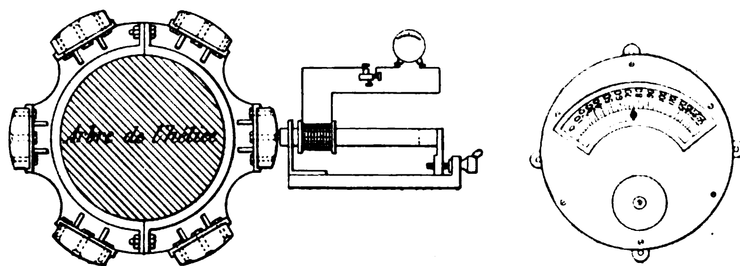


Fig. 10 et 11. — Indicateur de vitesse.

Régulateur électromagnétique J. S. Yabsley pour machines marines [1].

Les machines marines sont soumises à de fréquents emballements motivés par le tangage du navire par les gros temps: l'hélice, en se dégageant hors de l'eau, n'éprouve plus aucune résistance, d'où un à-coup dans la vitesse du moteur qui parfois devient très préjudiciable aux pièces en mouvement. Généralement, dans ces circonstances, un mécanicien placé au registre, en manœuvre le volant dans le but de prévenir l'emballement au moment où l'arrière du navire se soulève. Cette opération exige beaucoup d'attention et une main assez expérimentée; en outre, ce poste est très peu enviable par grosse mer.

L'appareil que nous allons décrire, dû à M. Yabsley, de Yokohama, paraît réunir les conditions nécessaires pour manœuvrer le volant d'admission avec toute la ponctualité désirable. Comme, par les mouvements de tangage, le tirant d'eau à l'arrière du navire varie à chaque mouvement de celui-ci, l'inventeur a conçu l'idée d'utiliser cette variation par un jeu de contacts mis en mouvement par un boîte à couvercle ondulé sur laquelle la pression hydrostatique de la colonne d'eau exerce à chaque instant son action.

Le déplacement des contacts a pour effet de lancer le courant d'une source quelconque d'électricité dans des électro-aimants, dont les armatures agissent sur la tige d'un tiroir, qui, en se déplaçant, admet la vapeur d'un côté ou de l'autre d'un piston terminé à l'extérieur par une tige adaptée à la poignée de commande du registre. Quoique cette description paraisse un peu longue, les mouvements des organes mis en jeu n'en sont pas moins instantanés.

La boîte à couvercle ondulé, rappelle par sa forme les tubes de certains manomètres et de baromètres anéroïdes; son fonctionnement est analogue en principe. Elle termine à l'intérieur du navire un tuyau dont l'autre extrémité sort le plus bas possible près de la quille; cette extrémité a son ouverture à la mer pourvue d'un clapet ou d'un robinet que l'on ouvre avant de mettre l'appareil en fonction.

Les organes de l'appareil sont représentés par les figures 1 et 2. Dans la figure 2 la boîte B,

[1] *The Electrical Review*, t. XL, p. 266, 26 février 1896.

terminant le tuyau A est supposée contractée ; son mouvement a entraîné le levier B^3,

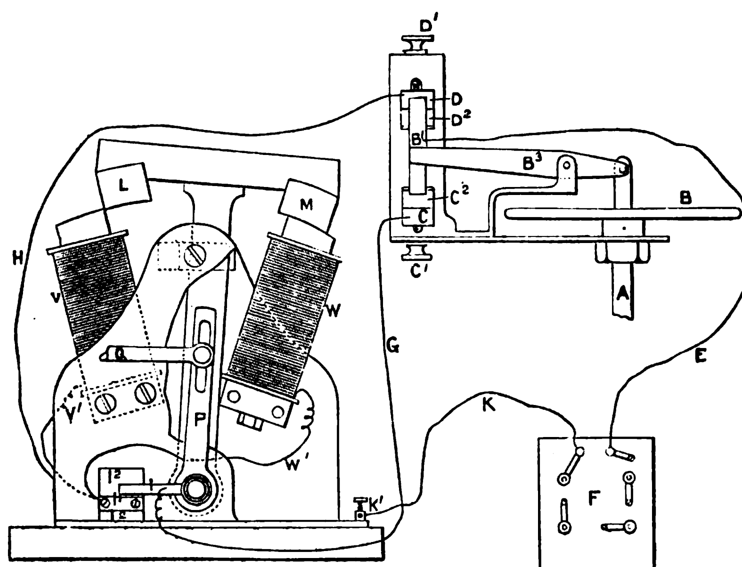


Fig. 1. — Régulateur Yabsley. Coupe transversale. Elévation.

dont la touche de contact B^1 a fermé le circuit de la batterie F en D. Le courant suit E, B^1, D, H, la lame-ressort J, le contact J^1 (fig. 2), la paire de solénoïdes V, V, le conducteur K^2, la borne K^1 et revient à la pile. A ce moment il se produit une interruption ; l'armature L, M, montée sur une tige à pivot P, est attirée en V, V ; son mouvement, en entraînant la lame-ressort J, a rompu le circuit en J^1, de sorte qu'à la position inverse de la figure 1, la seconde lame I repose sur sa touche I^1 et établit le circuit pour le prochain lancé du courant dans les solénoïdes W, W.

Dans son mouvement, l'armature a repoussé par la tige Q le tiroir R (fig. 3) admettant la vapeur du côté T du piston. Ce dernier a, par sa tige U, fermé le registre d'une quantité proportionnelle à l'effort demandé. Les choses demeurent ainsi tant que la boîte compressible est contractée. Dès que la pression augmente elle se détend ; la touche B^1 glisse et vient reposer sur les deux blocs isolants D^2, C^2. Si, par suite, la pression

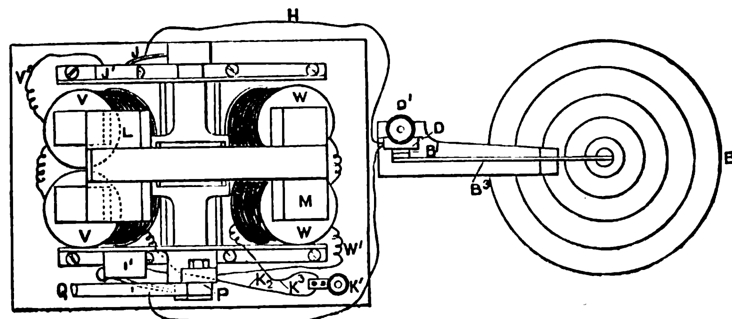


Fig. 2. — Régulateur électromagnétique Yabsley. Vue en plan.

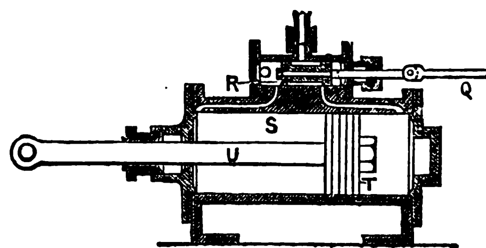


Fig. 3. — Régulateur Yabsley. Coupe du cylindre régulateur.

devient exagérée, B^1 ferme le circuit en C ; le courant suit alors E, B^1, C, G, I, I^1, W^1, les solénoïdes W, W, le fil K^3 et la borne de sortie K^1 pour retourner au pôle négatif de la batterie. Dans ce mouvement, comme dans le précédent, les contacts sont rétablis pour l'opération inverse, le contact est rompu en I, I^1 et rétabli pour J, J^1.

Le piston a reçu la vapeur du côté S, son déplacement, cette fois, a ouvert le registre, admettant ainsi une quantité de vapeur en rapport avec l'effort exercé sur l'hélice.

Étant donné la rapidité d'action de ce régulateur, la manœuvre du registre est toujours effectuée à temps. La première application qui en a été faite aux machines du steamer *Kaisha* a donné de très bons résultats ; les essais, qui ont eu lieu par un gros temps, alors que le navire tanguait fortement, ont donné d'excellentes preuves de son efficacité. L. D.

Transformation du charbon non conducteur en charbon conducteur dans les filaments de lampes à incandescence ;

Par G. Brion [1].

Parmi les variétés du carbone, les unes, comme le graphite, sont conductrices ; les autres, comme le diamant, le charbon de bois ou le charbon de terre, ne sont pas conductrices quand elles sont pures. D'autre part, on a observé, dans la fabrication du gaz de l'éclairage et dans celle des lampes à incandescence, que toutes les substances carbonisées deviennent conductrices quand on les soumet à une température très élevée à l'abri de l'air. M. Brion s'est proposé de rechercher dans quelles conditions s'opère cette transformation.

Les premières expériences ont été effectuées sur des bandes de papier carbonisé, mais les résultats étaient fort irréguliers à cause de la fragilité et du défaut d'homogénéité des fibres du papier. Les filaments de bambou et de cellulose qu'on emploie dans la construction des lampes à incandescence sont beaucoup plus commodes à étudier. Ces filaments sont chauffés dans un four à moufle de Braun.

Méthode de mesure. — La mesure de la résistance des filaments présente une difficulté principale : à savoir la difficulté d'assurer le contact entre les extrémités du filament et les extrémités du circuit ; en outre, la mesure est toujours incertaine, si on ne peut connaître la valeur de la résistance aux contacts.

Pour s'affranchir de ces difficultés l'auteur emploie, pour la mesure des résistances une modification de la méthode de Kirchhoff.

Il intercale dans un même circuit une pile, un rhéostat et le filament de charbon. Des dérivations du courant principal sont envoyées en sens contraire, dans les bobines d'un galvanomètre différentiel, qui possède une grande résistance W. Les extrémités de l'une des bobines sont reliées aux extrémités initiales A et A′ de la résistance à mesurer et du rhéostat ; celles de la seconde bobine, aux extrémités terminales B et B′ (fig. 1). Le galvanomètre est réglé de manière que les deux bobines possèdent la même résistance et que pour un même courant, elles produisent des couples égaux sur l'aiguille.

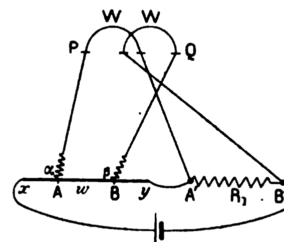


Fig. 1.

Soient I l'intensité du courant qui traverse la bobine attachée en A, i l'intensité du courant qui traverse le filament, quand le galvanomètre est au zéro. L'intensité dans la portion BA′ est égale à $\pm(i - I)$ suivant le sens du courant. Appelons x la résistance du filament entre son extrémité et le point A, y sa résistance entre le point B et l'autre extrémité, w la résistance à mesurer AB, R_1 la résistance correspondante dans le rhéostat, α et β les résistances de contact en A et en B ; les théorèmes de Kirchhoff nous donneront les équations suivantes :

$$\text{(ABA'BA)} \qquad (W + \alpha)\, I = wi \pm y\,(i - I)$$
$$\text{(B'QBA'B')} \qquad (W + \beta)\, I = R_1 \pm y\,(i - I).$$

D'où :

$$\frac{W + \alpha \pm y}{W + \beta \pm y} = \frac{w \pm y}{R_1 \pm y}. \qquad (1)$$

Si maintenant on place la pile entre B et A′ (fig. 2), il faudra pour établir l'équilibre prendre sur le rhéostat une résistance R_2, et par le même calcul qui ci-dessus, on trouvera :

$$\frac{W + \alpha \pm x}{W + \beta \pm x} = \frac{R_2 \pm x}{w \pm x}. \qquad (2)$$

---

[1] *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 715-735. 1896.

De ces deux équations (1) et (2), on tire :

$$\text{Si } \alpha > \beta,\ R_2 > w > R_1$$
$$\text{Si } \alpha < \beta,\ R_1 > w > R_2.$$

La valeur exacte de w est donc comprise entre R_1 et R_2. On enferme ainsi la valeur exacte de w entre deux limites, et on élimine

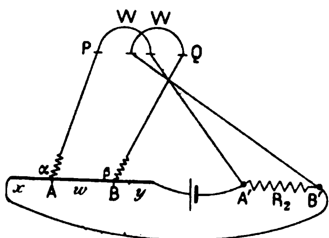


Fig. 2.

toutes les résistances de contact qui peuvent exister dans le circuit. En fait, on peut obtenir facilement des limites dont la différence ne dépasse pas 0,001 de la résistance totale.

Disposition de l'appareil. — Les filaments sont posés sur une planche de bois sec, bien dressée ; ils sont reliés avec la pile et le rhéostat par l'intermédiaire de deux blocs de laiton posés sur leurs extrémités et avec le galvanomètre par deux fils de nickel faisant légèrement ressort, qui sont maintenus parallèles à une distance fixe l'un de l'autre par deux petites tiges de substance isolante. Ces deux fils peuvent être déplacés quelque peu dans un plan vertical, de manière à modifier leur pression sur le filament et par suite les résistances de contact α et β.

Préparation des filaments. — Les filaments sont plongés dans de la poussière de charbon, entourés d'une atmosphère de gaz carbonique et chauffés lentement jusqu'au rouge vif, où on les maintient pendant dix heures. Au sortir du four, ils ne possèdent encore aucune conductibilité. Pour les rendre conducteurs, on les maintient pendant 15 ou 20 minutes, à une température mesurée par un couple thermo-électrique Le Chatelier et comprise entre 700° et 1060°.

Résultats. — La conductibilité augmente rapidement avec la température du recuit : un filament de bambou recuit à 735° a une résistance de plus de 1000 ohms ; s'il est recuit à 745° sa résistance s'abaisse à 6200 ohms, à 780° elle est de 970 et à 1060°, de 35 ohms seulement. Les filaments de cellulose éprouvent des variations aussi rapides. La température de 1060° n'a pas été dépassée, mais d'après l'allure des courbes, la variation paraît devenir de moins en moins rapide à mesure que la température s'élève davantage.

Lorsque les filaments sont abandonnés à eux-mêmes, leur résistance augmente avec le temps : cette variation se produit presque entièrement pendant les premiers moments qui suivent le refroidissement. Ce changement ne paraît pas lié à l'absorption des gaz, car on l'observe également sur les filaments qui sont plongés immédiatement dans le pétrole au sortir du four, il y a plutôt lieu d'admettre une transformation moléculaire du charbon.

Résistance des filaments aux températures élevées. — Les filaments sont attachés à de petits ressorts au moyen d'un mélange de graphique pulvérisé et de gomme ; les ressorts sont mastiqués dans des masses du même mélange, placés aux extrémités d'une nacelle de porcelaine ; l'ensemble est chauffé dans un tube de porcelaine. L'emploi des ressorts a pour but d'empêcher la rupture des filaments par la contraction qui accompagne le refroidissement. La résistance des filaments diminue beaucoup quand la température s'élève. Par exemple un filament porte à 680° a une résistance de 1700 ohms ; si on le laisse refroidir lentement, la résistance s'élève à 2700 ohms au bout de 10 minutes, à 5200 après 29 minutes et à 7600 ohms après 45 minutes ; le lendemain elle dépasse 10000 ohms.

Influence de la durée du recuit. — La durée du recuit paraît sans influence sur les propriétés ultérieures. Cependant il faut un cer-

tain temps de chauffe pour que la résistance atteigne sa valeur limite. Ainsi la résistance d'un filament chauffé à 615° pendant 1 h 5 m s'est abaissée de 13200 ω à 11900 pendant les 21 premières minutes, et de 11900 à 10400 pendant les 44 minutes suivantes. Mais après le refroidissement, la rétrogradation suit la même marche, quelle qu'ait été la durée de chauffe. M. L.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur les propriétés électriques des radiations émises par les corps sous l'influence de la lumière;

Par Gustave Le Bon [1].

« Avant d'aborder l'étude des propriétés électriques des radiations produites par les corps sous l'influence de la lumière, auxquelles il est fait allusion dans ma dernière Note [2], je répondrai aux objections [3] faites à mes précédentes expériences.

» La principale réside dans la transparence optique que posséderait l'ébonite. Cette objection disparaît absolument devant les expériences suivantes, notamment la première, vérifiée par M. le professeur d'Arsonval et que je n'avais pas indiquée parce qu'elle exige un matériel que ne possèdent pas tous les laboratoires. Au lieu d'ébonite de 5 à 7 dixièmes de millimètre d'épaisseur, prenons un disque d'ébonite de 2 à 3 mm d'épaisseur. Sur sa face antérieure, regardant la lumière, collons une étoile métallique. Sous sa face postérieure, plaçons une pellicule sensible (marque Carbutt) *dont nous ne voilerons que la moitié*. Si l'on expose ce système au soleil, le déplacement des ombres, par suite de la marche du soleil, empêchera la formation d'une image régulière (et c'est pourquoi je n'avais parlé que de lames minces, avec lesquelles cet inconvénient n'existe pas); mais si l'on immobilise les rayons solaires au moyen d'un héliostat, on obtiendra, en moins d'une heure, une excellente image de l'étoile sous la partie voilée *et aucune trace d'action sous la partie non voilée*. Le fait que la partie non voilée n'est pas impressionnée prouve que l'ébonite a opposé un obstacle absolu au passage des rayons lumineux ordinaires [1']. Il est évident, d'ailleurs, que, pour de telles épaisseurs, l'opacité ne saurait être contestée.

» On peut, comme je l'avais indiqué, remplacer l'ébonite par un corps opaque quelconque, tel qu'une feuille de métal; on peut également comparer l'action de l'ébonite à celle d'un métal, en creusant dans l'ébonite un rectangle qu'on obture avec une feuille de métal; mais, pour que ces expériences réussissent, il faut une pose très juste, et c'est pourquoi je n'ai pas voulu en parler tout d'abord.

» On peut enfin remplacer la plaque sensible par une plaque phosphorescente de sulfure de zinc exposée une seconde à la lumière. Si l'on pose sur cette plaque une étoile métallique collée sur une feuille d'ébonite de 2 à 3 mm d'épaisseur, on obtient en dix secondes, au soleil, une image de l'étoile très visible dans l'obscurité. L'expérience peut être rendue plus frappante, en mettant dans une boite d'ébonite hermétiquement close les objets. On aura leur image sous la plaque phosphorescente appliquée sous la boite. J'ai répété cette expérience devant M. le professeur d'Arsonval.

» Pour montrer que, dans l'expérience photographique relatée plus haut, l'étoile métal-

[1] *Comptes rendus*, CXXIV, p. 892, séance du 26 avril.

[2] *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 223, 24 avril 1897.

[3] Voir plus loin, p. 331.

[1'] C'est précisément par cette méthode que j'avais déterminé l'épaisseur minima à donner à l'ébonite, pour mettre mes expériences à la portée de simples photographes. Si ces photographes ont trouvé leur ébonite transparente, c'est qu'elle était dépolie et pleine de trous, ce qui arrive quelquefois.

lique n'agit nullement par son opacité, il n'y a qu'à la remplacer par une étoile faite avec des corps *optiquement* transparents convenablement choisis. Le mica et le quartz sous une épaisseur de 0,5 mm, ou simplement certaines qualités de papier à calquer transparent, jouissent de propriétés identiques à celles de l'étoile métallique et donnent comme elle une image sur la plaque sensible voilée. Pour que l'expérience réussisse bien, il faut que la pose soit très juste, ni trop courte, ni surtout trop longue. Elle peut se faire en une demi-heure à une heure avec une lampe à pétrole.

» Dans une prochaine Note, je montrerai que les radiations ayant traversé les corps opaques n'ont plus les propriétés de la lumière.

» J'arrive maintenant à l'action sur l'électroscope des radiations émises par les corps frappés par la lumière. Cette action se constate par plusieurs procédés, donnant d'ailleurs des résultats analogues : 1° on peut placer le corps à étudier sur une substance isolante, telle qu'un bloc de paraffine, et le relier par un fil au bouton de l'électroscope; 2° on peut mettre le corps à étudier dans une fente pratiquée dans le bouton de l'électroscope et l'y maintenir par une vis à pression; 3° on peut, plus simplement, remplacer le bouton de l'électroscope par un disque de cuivre (corps peu sensible à la lumière) et poser sur ce disque les corps à étudier ; 4° on peut enfin, sans établir aucune communication entre le corps de l'électroscope, diriger les radiations engendrées par ce corps sur le bouton de l'électroscope, en le plaçant à 15 cm ou 20 cm de ce dernier.

» Les expériences suivantes ont été faites en réduisant le corps à observer en lames carrées, ayant 10 cm de côté sur 1 mm d'épaisseur. Dans chaque expérience, l'instrument a toujours été porté au même potentiel et on a pris pour unité le temps nécessaire pour obtenir une chute des feuilles de 10° de chaque côté de la verticale, soit un écartement angulaire de 20°.

» Le procédé d'observation étant ainsi constitué, on constate que tous les corps frappés par la lumière provoquent la déperdition électrique, négative et positive. La déperdition est beaucoup plus rapide si la charge de l'électroscope est négative ; mais, pour un grand nombre de corps, le sens de la charge est indifférent.

» La rapidité de la décharge est très variable suivant les corps, comme le montrent les chiffres suivants, qui indiquent le temps nécessaire pour obtenir à l'ombre une chute de 10° avec des corps ayant subi (seulement quand ce sont des métaux) le nettoyage spécial dont il est parlé plus loin et qui joue un rôle fondamental : zinc amalgamé depuis quelques minutes, une seconde ; zinc ordinaire et aluminium, cinq à dix secondes ; étain, nickel, antimoine, fer, verre dépoli, ébonite (non frottée), carton blanc, paraffine, vingt à quarante minutes ; cuivre, cobalt, mercure, or, platine, argent, cinquante à soixante-dix minutes. Pour le cobalt, l'argent, le platine, le mercure, le sens de la charge est à peu près indifférent. Pour le zinc pur ou amalgamé et l'aluminium, la décharge est considérablement plus rapide si l'électroscope a reçu une charge négative, sauf si l'on se sert de ces métaux comme d'un miroir placé à petite distance de l'électroscope, suivant la méthode exposée plus haut. La charge des feuilles doit alors être positive.

» Ces radiations, engendrées par l'action de la lumière, semblent s'emmagasiner à la surface des corps. Elles conservent, en effet, pendant un temps, variable suivant ces corps, la propriété de décharger l'électroscope dans l'obscurité (1° à 2° par heure).

» Si l'on étudie les influences qui font varier chez un même corps la propriété de décharger l'électroscope, on voit que cette propriété varie considérablement, au moins pour les métaux, suivant l'état de leur surface. Prenons une plaque de zinc propre comme aspect, mais nettoyée depuis longtemps, la décharge qu'elle produira sera insignifiante. Frottons-la énergiquement avec

un morceau de papier à l'émeri imbibé de térébenthine, puis avec un morceau de papier à l'émeri sec, puis enfin avec une peau de chamois neuve saupoudrée avec une pincée de rouge d'Angleterre. La plaque ainsi nettoyée produira, avec le zinc et l'aluminium, une chute des feuilles de 10° en moins de dix secondes à l'ombre. Des variations de même ordre, sous l'influence du nettoyage, s'observent pour tous les métaux. L'expérience montre que le poli du métal ne joue absolument aucun rôle.

» La propriété que possèdent tous les corps en général, et surtout les métaux, d'émettre sous l'influence de la lumière des radiations capables de décharger l'électroscope, s'affaiblit pour ainsi dire à vue d'œil à mesure qu'on s'éloigne du moment de nettoyage. Aussi cette opération a-t-elle besoin d'être renouvelée fréquemment. Une plaque de zinc qui donne en dix secondes une décharge de 10° donnera au bout d'une heure une décharge 120 fois plus lente.

» Les causes les plus légères : l'action momentanée de la chaleur ou d'un courant électrique, l'immersion momentanée dans un bain d'alcool suivie d'un séchage par simple évaporation, ralentissent considérablement le phénomène. Il est ralenti encore (10° de décharge en cinquante-trois minutes au lieu de dix secondes, c'est-à-dire plus de 300 fois moindre) si l'on pose une feuille de verre incolore sur le métal exposé à la lumière. La plupart des lumières monochromatiques agissent comme la lumière ordinaire.

» Il semblerait qu'on puisse conclure de ce qui précède, que tous les corps possèdent, au moins au point de vue de leur action sur l'électroscope, des propriétés du même ordre que celles manifestées par l'uranium à un degré éminent, ainsi que l'a démontré M. Becquerel. Les propriétés de l'uranium ne seraient donc qu'un cas particulier d'une loi très générale. »

La thermoluminescence provoquée par les rayons de M. Rœntgen et les rayons de M. Becquerel ;

Par M. J.-J. Borgman [1].

« Les *Annales de Wiedemann* (t. LX, p. 269 ; 1897) contiennent la description d'expériences très intéressantes, faites par M. Hoffmann [2] sur la thermoluminescence sous l'action des étincelles électriques provenant d'une machine électrique de Toepler. M. Hoffmann et M. le professeur E. Wiedemann attribuent la cause de l'excitation de la thermoluminescence (dans les conditions de leurs expériences) à l'action de certains rayons qui naissent dans les étincelles jaillissant entre deux électrodes, et que M. E. Wiedemann a nommés *rayons de décharge*.

» Le travail de M. Hoffmann contient des recherches sur la nature de ces rayons. Désirant reproduire les effets observés par M. Hoffmann, j'ai chargé un des étudiants de l'Université, M. Soumguine, de répéter ces expériences ; je lui proposai aussi de rechercher si la thermoluminescence ne serait pas provoquée également par les rayons Rœntgen et les rayons provenant des sels d'uranium (rayons de M. Becquerel).

» On prenait, d'après Hoffmann, un mélange de $CaSO^4 + 5$ p. 100 $MnSO^4$ bien calcinés. La masse ne donnait pas de phosphorescence, même après une exposition assez prolongée à la lumière d'une lampe à arc. Dans ces conditions, elle ne donnait non plus des signes de thermoluminescence ; mais la thermoluminescence apparaissait très vive sous l'action des rayons de décharge, provenant d'une machine électrique de Voss.

» Nous n'avons pu, pas plus que M. Hoffmann, observer une influence de la substance des électrodes entre lesquelles jaillissait l'étincelle. *Cœteris paribus*, l'intensité de la thermoluminescence était la même avec des électrodes en laiton, nickel et cadmium. *Les*

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 895, séance du 26 avril.

(2) Voir ce numéro, p. 326.

rayons Rœntgen provoquaient une thermoluminescence très vive.

» Dans ces expériences, la masse $CaSO^4 + 5$ p. 100 $MnSO^4$ était enveloppée d'une double boîte en aluminium, tellement que les rayons Rœntgen, qui venaient d'un tube-focus, devaient traverser deux feuilles d'aluminium de 5 mm d'épaisseur chacune. Le sulfate double d'uranyle et de potassium, soumis à l'action des rayons ultraviolets, était placé pendant quelques heures en regard du mélange $CaSO + 5$ p. 100 $MnSO^4$; le sel d'urane couvrait un verre de montre auquel il adhérait fortement ; ce verre étant posé, le sel en dessous, au-dessus d'une petite boîte en laiton contenant la masse $CaSO^4 + 5$ p. 100 $MnSO^4$, y provoquait une thermoluminescence. Quand l'action du sulfate double d'uranyle et de potassium était prolongée pendant six jours, la thermoluminescence devenait assez vive.

» Il en ressort que la *thermoluminescence de la masse* $CaSO^4 + 5$ p. 100 $MnSO^4$ *est provoquée non seulement par les rayons de décharge, mais aussi par les rayons de M. Rœntgen et par les rayons provenant des sels d'uranium* (*rayons de Becquerel*). »

Sur la variation de l'état électrique des hautes régions de l'atmosphère, par beau temps;

Par G. Le Cadet [1].

Dans cette note l'auteur indique les résultats qu'il a obtenus dans une ascension faite à Lyon, le 24 mars dernier, dans le but de continuer une étude commencée il y a quelques années sous la direction de M. Ch. André.

Des observations faites par M. Le Cadet dans deux ascensions effectuées le 1er et le 9 août 1893, M. André concluait [2] que, par *beau temps* le champ électrique *n'est certainement pas croissant avec la hauteur* et que peut-être il est le même au même instant tout le long d'une même verticale, en réservant toutefois le contrôle de cette seconde partie à une ascension ultérieure; la récente expérience de M. Le Cadet montre que « le champ électrique est certainement plus faible au-dessus de 1500 m d'altitude dans l'atmosphère que sur le sol inférieur supposé plan ».

Dans les ascensions de 1893 la mesure de la différence de potentiel entre deux points de l'air était effectuée au moyen du dispositif suivant : aux deux angles, diagonalement opposés, de la nacelle était fixé, à l'aide d'une couche isolante de soufre, un réservoir cylindrique portant à sa base un tube de caoutchouc, dont on pouvait, au moyen de raccords vissés à son extrémité, faire varier la longueur depuis 20 m jusqu'à 25 m et terminé par un orifice d'écoulement de 0,2 mm de diamètre. Les réservoirs étaient remplis d'eau distillée (dont on avait, en outre, une provision dans la nacelle) et, dès que le ballon était arrivé à une certaine hauteur, on ouvrait leurs robinets. Chacun d'eux communiquait par un fil métallique, soit avec l'armature feuilles, soit avec l'armature borne d'un électromètre d'Exner. Celui-ci donnant donc à chaque instant la différence de potentiel correspondant à la distance verticale connue des orifices d'écoulement et, par suite, une quantité proportionnelle à la valeur du champ électrique, le coefficient de proportionnalité changeant avec toute cause qui modifiait l'état du conducteur complexe, ballon, nacelle et appareils collecteurs.

Ce dispositif avait l'inconvénient d'être assez pesant (environ 80 kg). Dans sa dernière ascension, M. Le Cadet lui a substitué un dispositif plus léger (2 kg) formé de mèches en papier à l'azotate de plomb. Ces mèches allumées à l'aide d'un briquet convenable, sont descendues ensuite au-dessous de la nacelle, à des distances différentes pour chacune d'elles, mais toutes supérieures à 30 m, au moyen de deux fils de laiton gradués. Chacun de ces

---

[1] *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 761, séance du 5 avril.

[2] *Comptes rendus*, t. CXVII, p. 729, séance du 27 novembre 1893,

fils, après s'être enroulé sur un treuil isolé par un pain de soufre, aboutit à un électromètre différentiel. Des expériences préalables avaient montré que si la mèche est assez bien préparée pour qu'il ne subsiste nulle part sur le cône incandescent, ni cendre, ni pellicule de résidu, le débit électrique est grand et la mise en équilibre rapide et sûre, point important à vérifier car on sait que divers expérimentateurs, en particulier M. Pellat, ont constaté que la combustion d'un cornet de papier développe une différence de potentiel sensible entre la tige métallique qui supporte le papier et l'air environnant.

Les mesures faites entre 1 680 et 2 300 m d'altitude, de 1 h. 12 à 1 h. 52 ont donné, pour la variation du potentiel par mètre, des nombres compris entre + 28 et + 32 volts, soit 30 volts en moyenne. Pendant le même intervalle, l'électromètre enregistreur de l'Observatoire de Lyon, situé à 300 m d'altitude, indiquait une valeur moyenne de 118 volts.

Conductibilité électrique superficielle anisotrope : essais de démonstration expérimentale;

Par F. Braun [1]

Lorsqu'un cristal s'accroît dans la solution mère, les particules solides qui se déposent sur les faces déjà formées prennent une orientation déterminée. Il n'est pas impossible que cette orientation préexiste dans la dissolution au voisinage des faces du cristal. Si on essaye d'étudier les propriétés de la dissolution par voie optique, on ne peut mettre en évidence aucune trace de double réfraction et par conséquent d'anisotropie.

M. Braun a tenté de démontrer l'existence de cette anisotropie en se servant des phénomènes électriques. G. Wiedemann a fait voir autrefois que la conductibilité électrique d'une lame de gypse n'était pas la même dans toutes les directions. D'autre part, la conductibilité d'une pareille lame, mesurée dans l'atmosphère d'une chambre même très sèche, est beaucoup plus grande que si l'air a été artificiellement desséché. Il est vraisemblable, d'après l'ensemble des expériences que la couche d'eau qui se dépose à la surface de la lame et accroît la conductibilité est anisotrope. Mais les expériences rencontrent de telles difficultés qu'on ne peut en tirer aucune certitude.

La source d'électricité est une batterie de bouteilles de Leyde soigneusement isolée et chargée à un potentiel qui varie de 500 à 2 200 volts est mesuré directement. L'intensité du courant est évaluée d'après la vitesse avec laquelle il charge un électromètre à quadrants de capacité connue, jusqu'à une différence de potentiel assez faible (1 volt = 50 div.). La lame de gypse repose sur de la paraffine dans une éprouvette fermée où on peut faire arriver de l'air qui a traversé des flacons laveurs contenant un mélange d'acide sulfurique et d'eau; suivant la concentration de l'acide, on obtient de l'air à différents degrés d'humidité. Deux électrodes métalliques appliquées contre la lame permettent le passage du courant.

On n'obtient de nombres comparables qu'en maintenant constants pendant très longtemps l'état hygrométrique de l'air et la différence de potentiel du condensateur.

Dans leur ensemble, les mesures s'accordent sur ce point, que la couche superficielle paraît plus conductrice dans la direction où la substance, aussi bien desséchée que possible, présente aussi une plus grande conductibilité.

Sur les lames de quartz, de spath, de mica, la différence entre deux directions est à peine appréciable.

D'autres expériences ont été faites en plaçant dans diverses directions sur la lame de gypse deux électrodes maintenues à une distance constante l'une de l'autre (elles étaient fixées toutes deux dans un tube de métal, qu'on déplaçait tout d'une pièce), le rapport entre les conductibilités dans deux directions faisant entre elles un angle de 70° a été :

2,5 3,2 1,8 1,0

(1) *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 673-682, 1896.

Toutes ces mesures sont sujettes à la même objection : on ne peut s'assurer que d'une expérience à l'autre le contact entre les électrodes et la lame reste également bon et par suite que la résistance de passage reste constante.

En admettant que les expériences démontrent l'existence de l'anisotropie; on peut s'expliquer le phénomène en se rappelant que :

1° La conductibilité intérieure du gypse, qui possède sans aucun doute la conductibilité électrolytique dépend également de la direction; il faut donc attribuer aux ions des vitesses différentes suivant la direction qu'ils suivent dans le cristal;

2° Lehmann a démontré que certains liquides sont anisotropes optiquement;

3° Il suffit, pour rendre compte des faits, d'admettre l'existence d'une couche d'eau de $1,6\ 10^{-10}$ mm d'épaisseur, ou plus exactement d'eau saturée de gypse. Car une couche d'eau pure pour posséder la même conductibilité devrait avoir l'épaisseur de $3,2\ 10^{-7}$ mm 2 000 fois plus grande que la précédente, quoique extrêmement petite encore en valeur absolue.

Les tentatives faites pour mettre en évidence une anisotropie des couches métalliques (d'argent, d'or, d'argent transformé en iodure) qui se déposent par voie chimique sur des cristaux, sont restées infructueuses.

M. L.

Continuité d'une propriété électrique dans la couche de passage entre les corps solides et les corps liquides ;

Par F. Braun [1]

Dans les expériences dont il est question ci-dessus, on trouve toujours que la conductibilité superficielle diminue quand le passage du courant se prolonge et atteint peu à peu une valeur constante. Le temps nécessaire pour atteindre cette valeur limite est d'autant plus long que la conductibilité est plus faible et peut suivant les cas se mesurer par heures ou par secondes. Le phénomène paraît dû à une sorte de charge résiduelle et les expériences suivantes prouvent l'existence de ce résidu.

Les armatures d'une bouteille de Leyde sont reliées respectivement aux électrodes appliquées sur la lame cristalline et l'armature extérieure l'est en même temps au sol. Cette dernière communication peut être supprimée et remplacée par une communication avec l'une des paires de quadrants d'un électromètre; l'autre paire de quadrants communique constamment avec la cage de l'instrument, avec l'armature extérieure du condensateur et avec le sol. Tant que passe le courant, l'électromètre reste en dehors du circuit. Pour observer le résidu, on relie l'armature intérieure au sol, d'une manière permanente, et aussitôt après, on supprime la communication de l'électrode extérieure avec le sol, pour la relier à l'électromètre. A partir de ce moment on compte le temps et on observe la marche de l'électromètre.

Les valeurs trouvées pour le résidu sont trop grandes pour que ce résidu soit dû tout entier au solide : il faut en attribuer une partie à la couche de liquide déposée à sa surface.

La grandeur du résidu croît avec la force électromotrice du courant primaire, ce qui distingue le phénomène de celui de la polarisation électrolytique. Lorsque l'épaisseur de la couche liquide augmente, le résidu diminue et finalement prend la valeur correspondant à la polarisation électrolytique. On peut se demander si le phénomène se réduit à la polarisation électrolytique avant que la couche de liquide ne devienne visible. C'est en effet ce qui arrive, mais lorsque la conductibilité est déjà assez grande pour que la batterie de bouteilles de Leyde perde une fraction notable de sa charge. Si la couche liquide possède la conductibilité d'une solution saturée de gypse, son épaisseur est alors de 56.10^{-10} mm ; si on suppose qu'elle a seu-

[1] *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 682-688, 1896.

lement la conductibilité de l'eau pure, il faut lui attribuer une épaisseur de $11,2 \, 10^{-6}$ mm.

Les couches d'eau déposées à la surface du mica présentent les mêmes propriétés.

On trouve ainsi aux minces couches liquides déposées à la surface des corps solides, la propriété de conserver une charge résiduelle, propriété qu'on ne connaissait, jusqu'à présent, que dans les corps solides.

Conductibilité de l'air électrisé;

Par F. Braun [1].

L'air est électrisé par les aigrettes ou les effluves lumineuses qui partent d'une pointe ou d'un peigne à l'un des pôles d'une puissante machine d'influence, l'autre pôle étant relié au sol. Voici quelques-uns des phénomènes observés :

1° Un électroscope à feuilles d'or est chargé positivement; la boule supérieure est entourée d'une gaine en toile métallique reliée à la cage extérieure pour protéger l'instrument contre les influences extérieures. Aussitôt que cet électroscope se trouve dans de l'air chargé négativement, les feuilles retombent. Dans l'air électrisé positivement, l'électroscope ne subit aucun changement et ne prend aucune charge, lorsqu'il était primitivement à l'état neutre.

Les phénomènes sont les mêmes lorsqu'on change à la fois le signe d'électrisation de l'air et celui de l'électroscope.

L'explication la plus simple qui permet de rendre compte des observations, c'est que l'air électrisé est devenu conducteur; en effet un courant traverse toute la salle; de plus il est électrisé, c'est-à-dire que chaque élément de volume renferme de l'électricité libre, de même signe que celle de la pointe, sans qu'on puisse décider quel est le véhicule de cette électricité. L'air la conserve quelque temps même quand on l'éloigne du champ électrique où il se trouvait primitivement, par exemple quand on le fait passer à travers une toile métallique formant une surface fermée.

2° La cage de l'électromètre est isolée ; la gaine qui entoure la boule supérieure porte une tige isolée, on peut faire les expériences suivantes :

A. L'électromètre est chargé à + 400 volts ; la cage est reliée à l'un des pôles d'une pile de 200 volts et on apporte le tout dans l'air électrisé négativement. L'électromètre revient rapidement au zéro.

B. Si, laissant la cage chargée à 200 volts, on ramène l'électromètre au zéro et qu'on le porte dans l'air électrisé négativement, on n'observe aucun changement.

C. Si on répète la même expérience avec l'air électrisé positivement, l'électromètre revient au zéro. Les mêmes expériences réussissent quand on intervertit les signes d'électrisation de l'air et de l'électromètre.

Le courant électrique que transmet l'air peut être rendu assez intense pour impressionner un galvanomètre sensible en prenant comme électrodes de grands morceaux de toile métallique et comme source une bouteille de Leyde chargée à environ 3000 volts.

L'air électrisé ne perd pas toute sa charge quand on le fait filtrer à travers des toiles métalliques, mais cependant son action sur l'électromètre diminue alors beaucoup et il faut alors des dispositions spéciales pour la mettre en évidence. Un entonnoir de métal est soudé à un tube de laiton ayant 2,5 cm de diamètre ; du côté de l'entonnoir, l'ouverture du tube est garnie de quatre épaisseurs de toile métallique soudées. Dans le tube métallique, isolée de ses parois, plonge une pointe qui communique avec un électromètre bien protégé. Dans l'entonnoir se trouve un peigne qui électrise l'air. Lorsqu'on aspire l'air par le tube, on voit que l'électroscope se décharge. Si on aspire les gaz provenant de la flamme d'un brûleur de Bunsen, ils déchargent l'électromètre, que celui-ci soit chargé positivement ou négativement.

Lorsque l'air a filtré à travers du coton, on n'observe plus rien. Tous ces phénomènes

[1] *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 688-693, 1896.

pourraient s'expliquer par la présence de poussières dans l'air.

Avec un électromètre à quadrants, on peut voir qu'un conducteur protégé par une toile métallique prend une faible charge, quand on le place dans l'air électrisé.

La grandeur de cette charge dépend visiblement de la vitesse avec laquelle les particules d'air électrisé traversent l'écran et de la direction et de l'intensité du champ.

La courbure des surfaces n'a pas d'influence essentielle sur les phénomènes de décharge.

L'air se comporte en somme comme s'il était formé de particules susceptibles de recevoir une charge électrique et se mouvant dans un milieu isolant; mais ces particules ne prennent de charge qu'en arrivant dans les régions où la densité électrique est grande.

Les expériences décrites ci-dessus étaient terminées avant la publication du premier mémoire de Rœntgen. M. Braun a vérifié que dans les conditions où il opérait, les rayons de Rœntgen exercent sur la décharge une action un peu plus petite, mais du même ordre de grandeur que celle de l'air électrisé. Mais l'effluve lumineuse qui a traversé une feuille d'aluminium et se propage ensuite dans l'air, ne décharge pas un électroscope abrité derrière une deuxième feuille d'aluminium, même quand un flux serré d'étincelles arrive directement sur cette feuille. M. L.

Expérience sur un courant magnétique;

Par F. Braun (1).

De même qu'un courant électrique met en mouvement le magnétisme dans un corps magnétique, le magnétisme en mouvement doit provoquer un courant électrique dans un conducteur, ou la polarisation dans un diélectrique. Cette conséquence est assez difficile à vérifier expérimentalement, mais l'expérience suivante, quoiqu'elle puisse s'expliquer autrement, présente une analogie évidente avec le phénomène prévu. Entre les pôles d'un électro-aimant de Ruhmkorff, aussi écartés que possible, on place une bobine de fil de fer (19 spires de fil de 4 mm; diamètre extérieur 4 cm; longueur 25 cm); les extrémités sont limées de manière à s'appliquer exactement contre le noyau de l'électro-aimant. Un fil de cuivre est tendu à travers le canal percé dans le noyau et dans l'axe de la bobine; ses extrémités sont reliées aux bornes d'un galvanomètre de Wiedemann. Lorsqu'on excite l'aimant, la bobine de fer est parcourue par un courant magnétique, qui provoque dans le conducteur tendu suivant son axe, un courant électrique. Le sens du courant est déterminé par la règle d'Ampère en changeant le signe. Si on enlève la bobine de fer on n'observe plus aucun courant d'induction dans le fil; si on remplace la bobine de fer par une bobine enroulée en sens contraire, le sens du courant est renversé. Lorsqu'on renverse le courant dans l'électro-aimant, le courant induit est beaucoup plus intense à cause du magnétisme rémanent.

Exemple. — Le pôle nord de l'électro-aimant est à gauche, le pôle sud à droite, le courant magnétique parcourt la bobine de fer de gauche à droite; cette bobine est enroulée à droite, la fermeture du circuit de l'électro provoque dans le fil de cuivre un courant de droite à gauche.

Source d'électricité	Fermeture	Ouverture	Renvers.
1 Accumulateur.	+ 7,5	— 7	55
2 »	+ 15	— 14	77
3 »	+ 20	— 19	85
5 »	+ 25,5	— 24	93
8 »	+ 31	— 27	96

Le galvanomètre, presque apériodique, donnait 60 divisions de déviation sur l'échelle pour 1 milliampère. M. L.

---

(1) *Wied. Ann.*, t. LIX p. 693-695, 1896.

Sur les décharges radiantes et leurs rapports avec les rayons cathodiques et les rayons de Rœntgen;

Par W. HOFFMANN [1].

On a observé déjà depuis longtemps que les corps luminescents qui ont perdu cette propriété après avoir été maintenus longtemps à une température élevée, la reprennent lorsque des étincelles électriques passent dans leur voisinage. Les expériences ont démontré que cette nouvelle luminescence était provoquée d'abord par la lumière de l'étincelle et aussi par une espèce particulière de rayons; c'est à ces rayons que le professeur E. Wiedemann a provisoirement donné le nom de décharge radiante, pour ne rien préjuger sur leur nature.

Pour reconnaitre les décharges radiantes, M. Hoffmann s'est servi des substances suivantes, qui ont la propriété de n'être rendues que peu ou point luminescentes par la lumière ultra-violette et sont, au contraire, très sensibles aux décharges radiantes :

$Ca\,SO^4 + x\,Mn\,SO^4$ (lumière verdâtre).
$Na^2SO^4 + x\,Mn\,SO^4$ (» jaune).
$Ca\,CO^3 + x\,Mn\,CO^3$ (» rouge-brun).

La première surtout se prête bien aux expériences parce qu'elle n'éprouve pas de modification quand on la chauffe à plusieurs reprises. On l'obtient en ajoutant à du plâtre délayé dans de l'eau où on a dissous du sulfate de manganèse, une certaine quantité de ce sel et en calcinant le mélange quand il a fait prise : il faut éviter la présence de l'eau dont une petite quantité suffit pour diminuer beaucoup la sensibilité du sel.

On s'est occupé en premier lieu des décharges radiantes dans l'air à la pression ordinaire. L'étincelle jaillit entre deux boules, au-dessus d'une tablette où se trouve la substance sensible : cette tablette peut être soulevée ou baissée et la distance entre elle et l'étincelle est lue sur une règle graduée. La source d'électricité est une machine de Tœpler à 20 plateaux, mue par un moteur à eau Schmid. La substance sensible est étendue en couche uniforme sur une feuille de cuivre, puis, après avoir été excitée sur une plaque de $15 \times 15 \times 0,7$ cm, chauffée par un brûleur Bunsen. Pour limiter la surface luminescente, on recouvre la substance d'une lame de mica, qui est complètement opaque pour la décharge radiante et qui est percée d'une fente rectangulaire de $3 \times 0,5$ cm.

Pour apprécier l'intensité avec laquelle la thermoluminescence a été excitée, on emploie une méthode de contraste. L'une des moitiés *a* de la surface qui n'est pas protégée par la première feuille de mica est recouverte par une seconde feuille, et l'autre moitié *b* est exposée à la décharge radiante dans les conditions expérimentales B. Ensuite, la moitié *a* est recouverte par le mica et la moitié *b* exposée à la décharge dans les conditions A. En chauffant ensuite simultanément les surfaces *a* et *b*, et comparant leurs clartés, on peut comparer les intensités d'excitation dans les conditions A, B.

La thermoluminescence est provoquée par une espèce particulière de rayons.

En effet, elle n'est pas due :

1° A une réaction chimique de l'air; car un séjour de plusieurs heures dans l'air ozonisé ne communique à la substance $CaSO^4 + x\,MnSO^4$ aucune thermoluminescence; même résultat négatif quand la substance est placée dans un tube que parcourt un courant de gaz, de manière que la décharge radiante ne puisse l'atteindre; enfin les phénomènes restent les mêmes quand on souffle un violent courant d'air entre l'étincelle et la substance;

2° A la lumière de l'étincelle : car le rayonnement actif traverse encore une couche d'air de 20 cm et est arrêté par une mince lame de fluorine : c'est le contraire qui se produit pour les rayons ultra-violets;

3° Aux ondes électriques : car une lame

[1] *Wied. Ann.*, t. LX, p. 269-300, 1897.

diélectrique protège complètement la substance.

Propriétés générales de la décharge radiante.

1° L'intensité de la thermoluminescence provoquée par la décharge augmente d'abord rapidement, puis tend vers un maximum : ce maximum est atteint d'autant plus vite que la substance est plus voisine de l'étincelle;

2° Le maximum de clarté est à peu près le même pour toutes les valeurs de l'intensité d'excitation : il en résulte que pour obtenir une thermoluminescence de même éclat avec des étincelles de même intensité et correspondant à la même différence de potentiel il faut le même nombre d'étincelles : ce nombre ne dépend pas de la durée d'exposition. Pour vérifier cette loi, on enregistre les étincelles ou plus exactement des étincelles synchrones, sur un cylindre recouvert de noir de fumée;

3° Lorsque la durée d'exposition est relativement courte, avant que le maximum d'excitation soit atteint, on peut remplacer un rayonnement faible et prolongé par un rayonnement intense de courte durée : et alors l'excitation est sensiblement proportionnelle au produit de l'intensité i par la durée t;

4° La décharge radiante part de tous les points de l'étincelle mais surtout de la cathode;

5° La nature des électrodes, entre lesquelles jaillit l'étincelle n'a pas d'influence appréciable sur la décharge radiante;

6° La décharge radiante se propage en ligne droite;

7° Elle n'éprouve pas de réflexion sensible sur les corps solides;

8° Si on met en dérivation sur l'interrupteur à étincelles un condensateur de capacité croissante, de manière à augmenter la quantité d'électricité qui passe dans chaque étincelle, l'éclat de la thermoluminescence produite pendant un même temps augmente avec la capacité. Quelques fortes décharges provoquent finalement un plus grand éclat qu'un grand nombre de décharges plus faibles.

L'éclat de la thermoluminescence augmente aussi avec la différence de potentiel sous laquelle se fait la décharge;

9° L'intensité de la décharge radiante décroît un peu plus rapidement que l'inverse du carré de la distance entre l'étincelle et la substance sensible.

Décharges radiantes dans les différents gaz.

1° La plupart des corps solides absorbent la décharge radiante. Les propriétés absorbantes des gaz varient avec leur nature. Pour étudier cette absorption, on dispose la substance sensible dans un tube, à travers lequel on fait passer un courant du gaz; dans la paroi opposée du tube se trouve une ouverture de 0,7 cm en face de l'interrupteur à étincelles. La décharge radiante peut donc arriver sur la substance sensible, après avoir traversé le gaz. Lorsque de l'air passe dans le tube, on obtient une belle thermoluminescence; de même quand on remplace l'air par de l'azote; au contraire, l'oxygène et le gaz carbonique suppriment toute thermoluminescence. On s'est assuré d'ailleurs en modifiant l'expérience que cette influence de l'oxygène et du gaz carbonique ne provenait pas d'une action chimique de ces gaz sur la substance;

2° Si l'étincelle jaillit dans une atmosphère de divers gaz, on constate encore que l'oxygène, le gaz carbonique et le gaz de l'éclairage empêchent toute thermoluminescence de se produire. L'éclat de la thermoluminescence acquise par le sulfate de calcium exposé au rayonnement dans l'azote est à peu près les 2/3 de ce qu'il est dans l'air; dans l'hydrogène il est plus que le double.

Ce dernier résultat est assez surprenant, car le potentiel de décharge est plus petit dans l'hydrogène que dans l'azote. Cette circonstance semble indiquer que les décharges radiantes, émises par les étincelles qui écla-

tent dans l'hydrogène ont des propriétés spéciales;

3° De plus, tandis que les décharges radiantes qui prennent naissance dans l'air sont complètement absorbées par la fluorine, celles qui prennent naissance dans l'hydrogène, traversent, en faible quantité, cette fluorine; parfois des plaques épaisses se montrent plus transparentes que les plaques plus minces. Il semble que les décharges radiantes se modifient dans la fluorine, comme le font les rayons de Rœntgen d'après Winkelmann et Straubel [1];

4° La décharge par aigrettes ne renferme pas de décharge radiante;

5° La décharge dans les gaz sous faible pression donne aussi naissance à des décharges radiantes.

6° L'intensité des décharges radiantes croît quand la pression du gaz diminue.

Dans l'air, l'azote et l'hydrogène raréfiés, on obtient le même éclat de la thermoluminescence avec une durée d'exposition beaucoup plus courte que dans les mêmes gaz à la pression ordinaire. Dans l'hydrogène, on remarque déjà la luminescence pendant l'exposition. Dans l'oxygène et le gaz carbonique, où on n'obtient rien sous la pression atmosphérique, le sulfate de calcium acquiert une thermoluminescence nettement visible aux pressions de 3 à 1 cm de mercure.

7° On peut disposer l'expérience de manière à séparer l'effet des rayons qui proviennent de la partie positive de la décharge et l'effet de ceux qui proviennent de la partie négative. Ces derniers provoquent une thermoluminescence beaucoup plus brillante. A une pression basse, le mélange $CaSO^4 + x MnSO^4$ placé dans la lueur négative commence à émettre une lueur vert clair; rien de pareil ne se produit dans la lueur positive.

8° Sous l'influence des ondes électriques prennent naissance au contact du verre et d'un gaz un peu raréfié (dans certains cas déjà sous la pression de 44 cm de mercure, alors qu'on n'observe pas encore de décharge lumineuse) des décharges radiantes qui provoquent une vive thermoluminescence.

On sait que si on approche un vase de verre vide d'air du condensateur qui termine un appareil de Lecher, la paroi du vase voisine du conducteur vibrant électriquement, émet un rayonnement cathodique intense; auparavant apparaissent déjà dans le vase de très belles lueurs.

Lorsque le vase vide est à 10 cm de la plaque terminale, on obtient déjà une belle thermoluminescence après une exposition d'une minute (la substance se trouve dans le tube même). Par suite de la pression assez élevée (3 cm) et de l'éloignement de la plaque, les rayons cathodiques ne se produisent pas dans ces conditions. On doit conclure de cette expérience que le centre d'émission de la décharge radiante se trouve à l'intérieur du gaz raréfié, au point de la paroi de verre qui est la plus rapprochée du conducteur vibrant.

Si on laisse remonter la pression dans le récipient, la lumière devient moins intense et la durée d'exposition nécessaire pour obtenir le même éclat qu'auparavant, est plus longue. Sous la pression de 44 cm, on pouvait encore apercevoir une faible thermoluminescence, alors que toute trace de lumière avait disparu.

Les résultats sont les mêmes dans l'azote et dans l'hydrogène que dans l'air; mais dans l'oxygène et le gaz carbonique, on ne constate de décharge radiante que sous les faibles pressions.

9° Les décharges radiantes ne sont pas déviées dans un champ magnétique, pas plus celles qui prennent naissance dans l'air à la pression ordinaire que celles prenant naissance dans les gaz raréfiés.

Relations entre les décharges radiantes, les rayons cathodiques et les rayons de Rœntgen.

Les décharges radiantes n'ont pas d'action sur les plaques photographiques, quand elles

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 39, 27 mars 1897.

se produisent dans l'air sous la pression de 10 à 30 cm. Aux basses pressions, les décharges radiantes acquièrent peu à peu la propriété de traverser les corps, plus ou moins suivant la densité. Il y aurait lieu de faire d'autres expériences, pour voir si elles se transforment là en rayons de Rœntgen, ou bien en ces rayons cathodiques que ne dévie pas l'aimant et qu'ont signalés Goldstein, E. Wiedemann et Ebert.

Quand la pression diminue, le papier noir dont on enveloppe les plaques cesse d'être complètement opaque et les plaques placées dans l'intérieur du tube à décharges sont impressionnées assez rapidement; seulement les épreuves sont toujours floues. Cela peut s'expliquer de deux manières : ou bien les décharges radiantes se diffusent dans tout le tube, ou bien ces décharges qui d'abord se propagent en ligne droite, se transforment lorsqu'elles rencontrent un obstacle, en rayons de Rœntgen divergents.

Les différents corps ne possèdent pas au même degré la propriété de transformer les décharges radiantes en rayons de Rœntgen. En général, les rayons de Rœntgen, qui prennent naissance sur des anticathodes de métal ou de mica, sont plus actifs au point de vue photographique que les rayons issus d'une anticathode en substance fluorescente. Mais on ne trouve pas de proportionnalité entre l'intensité des rayons de Rœntgen et l'éclat de la fluorescence. Jusqu'à présent, toutes les expériences indiquent qu'avant tout la production des rayons de Rœntgen exige des rayons cathodiques très intenses; mais si, d'une part, l'éclat de la fluorescence est une mesure pour l'intensité des rayons cathodiques, d'autre part la fluorescence paraît ne jouer par elle-même qu'un rôle secondaire dans le phénomène. M. L.

La plaque photographique par R. Colson, répétiteur de physique à l'École Polytechnique. Un vol. in-8° de 161 pages, de la *Bibliothèque de la Revue générale des sciences*. — G. Carré et C. Naud, éditeurs; prix, cartonné, 5 fr.

La découverte de Rœntgen a donné à la photographie droit de cité dans le domaine de l'électricité; quelques mots sur le récent volume que M. Colson a consacré à la plaque photographique ne peuvent donc être déplacés dans ce journal, d'autant plus que l'auteur s'est efforcé de rendre son « exposé intelligible à tous » et qu'il y a réussi.

Après une brève description des procédés employés pour l'obtention de la plaque au gélatino-bromure, M. Colson aborde l'étude des réactions chimiques qui prennent naissance dans la plaque dans les manipulations ayant pour but de faire apparaître l'image. Suivant la théorie ordinaire, le révélateur, dans l'opération du développement, s'empare de l'oxygène de l'eau dont l'hydrogène réduit le bromure d'argent impressionné en donnant un dépôt d'argent métallique qui noircit les portions de la plaque ayant été exposées à la lumière. On conçoit donc immédiatement que toute substance réductrice puisse constituer un révélateur et que le choix ne se trouve limité que par la facilité de manipulation, la rapidité d'action, la nature et la coloration des produits formés qui pourraient réagir ensuite sur la gélatine; on comprend également que toute substance activant les propriétés réductrices du révélateur produise une accélération du mouvement et soit, pour cette raison appelée un accélérateur, tandis qu'au contraire d'autres substances, en gênant l'action réductrice du révélateur, constituent des retardateurs. Mais cette théorie, qui a le mérite de la simplicité, ne permet pas de se rendre compte de divers phénomènes tels que la destruction de l'image latente par l'encre à écrire, le bichlorure de mercure, le bichromate de potassium en solution sulfurique et autres substances oxydantes. Aussi M. Colson, guidé par des expériences sur lesquelles nous ne pouvons insister, croit-il devoir lui substituer une théorie plus complète, faisant jouer un rôle à la matière organique de la plaque; la gélatine. D'après cette théorie, la lumière, la chaleur ou toute autre forme d'énergie aurait pour effet d'amorcer la combinaison du brome du bromure avec l'hydrogène de la gélatine, et le révélateur terminerait la réaction amorcée soit directement, soit indirectement en provoquant la

combinaison de l'hydrogène de la gélatine avec l'oxygène de l'eau dont l'hydrogène réduirait le bromure. L'explication de l'action du révélateur se trouve ainsi un peu compliquée, mais elle est plus logique car il est évident que la gélatine ne peut être considérée comme un support inerte et qu'elle doit jouer un rôle important; de plus on conçoit alors que toute action oxydante, en s'emparant de l'hydrogène de la gélatine nécessaire à l'amorcement de la réaction, ait pour effet d'empêcher la formation de l'image latente et même de détruire cette image dans le cas où elle est déjà formée; c'est ce que M. Colson expose très clairement.

La formation de l'image latente et son développement se trouvant ainsi élucidés, du moins en partie, l'auteur passe en revue les diverses formes de l'énergie pouvant donner lieu à une image : actions chimiques, lumineuses, calorifiques, mécaniques, et enfin électriques.

Sur ce dernier sujet l'auteur a fait quelques expériences, en mettant la couche sensible à l'abri de toute autre action ; il a soumis des plaques au gélatino-bromure à des champs électriques variables, dans différentes conditions, pendant des durées assez longues, mais il n'a obtenu que des résultats négatifs tant qu'il n'y avait pas transformation de l'énergie électrique en quelque autre forme active de l'énergie.

L'étude des rayons Rœntgen vient ensuite et forme un des chapitres les plus intéressants de l'ouvrage; à signaler dans ce chapitre quelques expériences de l'auteur, sur lesquelles nous reviendrons en un autre endroit de ce journal, montrant que l'action de ces rayons est directe et non due à un phénomène secondaire : la phosphorescence du verre et de la gélatine sous l'influence de ces rayons.

Dans le chapitre suivant M. Colson décrit quelques anciennes expériences de Niepce de Saint-Victor sur l'emmagasinement de la lumière par les corps qui se rattachent à un sujet d'actualité : la photographie de l'invisible.

Ce dernier sujet forme la matière d'une quinzaine de pages dans lesquelles l'auteur expose les expériences du Dr Le Bon sur la lumière noire. Nos lecteurs ont été tenus au courant des nombreuses critiques soulevées par ces expériences; notons cependant celles que relève M. Colson. En premier lieu il n'est pas démontré que dans ces expériences il n'y ait pas passage de la lumière à travers la feuille opaque recouvrant la gélatine car M. Colson a constaté qu'une planchette de bois de 3 mm d'épaisseur laisse passer de la lumière visible (c'est à un effet de ce genre que M. Perrigot attribue les résultats obtenus dans une récente expérience de M. Le Bon, relatée dans notre numéro du 24 avril). En second lieu l'impression de la plaque peut être due entièrement à la chaleur, qui produirait une évaporation de l'eau contenue dans la gélatine du cliché placé contre la plaque dans les premières expériences de M. Le Bon, et entraînerait cette eau sur la plaque; M. Colson a en effet pu obtenir des résultats conformes à ceux de M. Le Bon par une source calorifique obscure, un fer à repasser chaud. Enfin M. Colson a observé qu'une lame de zinc émet des vapeurs qui peuvent impressionner une plaque à travers un corps opaque; peut-être y a-t-il un phénomène du même genre dans les expériences du même genre.

Un chapitre consacré aux précautions à prendre dans la conservation et l'emploi des plaques, termine le volume.

Par les indications qui précèdent, on peut voir que l'ouvrage de M. Colson s'adresse non seulement à ceux qui pratiquent la photographie, en leur faisant connaître les instruments qu'ils emploient, mais encore à tous ceux qui s'intéressent aux recherches nouvelles, nées de la découverte de Rœntgen, en leur fournissant en même temps que des indications suggestives, des documents précis et mis à point; nul doute dès lors qu'il ne trouve beaucoup de lecteurs.

Ajoutons que l'exécution matérielle a été particulièrement soignée, ce qui ne peut nuire au succès de ce volume, le premier d'une nouvelle collection : La *Bibliothèque de la Revue générale des Sciences*, qui compte déjà plusieurs ouvrages intéressant les électriciens et que nous signalerons bientôt.

J. Blondin.

CHRONIQUE

Absorption des rayons Rœntgen et de la lumière ultra-violette par les milieux cristallisés. — A la séance du 20 avril de l'Académie des sciences, M. V. Agafonoff communiquait les résultats des expériences qualitatives qu'il a faites pour reconnaître l'ordre de transparence aux rayons X de

nombreux cristaux, rassemblés dans le but d'une étude approfondie de l'absorption de la lumière ultra-violette par les milieux cristallisés.

Les lames cristallines, au nombre de 149, appartenant à une centaine de substances différentes, étaient successivement réparties sur six cartons; pour servir de termes de comparaison, chaque carton portait des cristaux, toujours les mêmes, de formiate de strontium, de salol et de sulfate de nickel et d'ammonium, ainsi qu'une chaîne mi-partie d'or et de platine; chaque carton, placé au dessus d'une plaque photographique, était soumis pendant le même temps à l'action d'un tube focus.

En tenant compte des épaisseurs diverses des cristaux (généralement 1 à 4 mm). M. Agafonoff a rangé ces cristaux en cinq groupes :

Premier groupe, presque opaque; l'absorption est comparable à celle qui est produite par la chaîne de platine et d'or : sulfates de manganèse, de cuivre, de cadmium, de didyme, de magnésium, de nickel, d'ammonium et de potassium; azotates de strontium, de mercure, d'uranium; formiate de strontium.

Deuxième groupe, très peu transparent : azotate de cuivre, tétrabromyrdialile, chlorbenzyle.

Troisième groupe, peu transparent : alun d'ammonium; azotates de potassium, de sodium, d'ammonium; chloralhydrate, sulfate d'hydrasine; mallate d'ammonium; acide hémimellitique, acide tartrique, dinitrochlorbenzène.

Quatrième groupe, assez transparent : résorcine, acide citrique, antipyrine, mannite, métylacétaniline, isodulcite, hexamétylène, vanilline, acide nitranisique, salol, érythrite.

Cinquième groupe, très transparent : benzophénone, acide cinnamique, acide quinique, asparagine, cholestrophane, bornéol.

De tous les minéraux examinés, la célestine, la cassitérite et la blende rentrent seules dans le premier groupe et la mellite dans le cinquième. Tous les autres : soufre, zircon, azurite, vivianite, épidote, cordiérite, saphir, rubis, sanidine, apophyllite, topaze, béryl, andalousite, tourmaline, phénaxite, atinite, diopside, titanite, boracite, aragonite, mélinophane, sel gemme, brookite, adulaire, mica, appartiennent aux second et troisième groupes.

En étudiant des clichés, l'auteur a été surpris de trouver qu'il existe en général une sorte d'opposition entre l'absorption pour les rayons lumineux et pour les rayons Rœntgen. Les sulfates, très transparents pour la lumière ultra-violette, sont, en général, d'une extrême opacité pour les rayons Rœntgen. L'inverse a lieu pour la plupart des combinaisons organiques cristallisées. Les azotates absorbent les rayons lumineux plus que les sulfates et moins que les corps organiques; les rayons Rœntgen, au contraire, moins que les sulfates et plus que les corps organiques. Il semble ensuite que, tandis que la nature de l'acide joue un rôle à peu près d'égale importance pour l'absorption des deux espèces de radiations, la nature de la base influe au contraire davantage dans le cas des rayons Rœntgen. Par exemple, le formiate et l'azotate de strontium sont aussi opaques que les sulfates, et comparables à l'or et au platine. L'alun d'ammonium, au contraire, est plus transparent que les sulfates ne le sont, en général, ce qui est sans doute dû à la présence de l'aluminium.

A propos de la lumière noire. — Dans notre numéro du 24 avril, nous signalions (p. 223), une expérience du Dr Le Bon, montrant qu'en plaçant sur une plaque photographique légèrement voilée, une lame d'ébonite de 5 à 7 dixièmes de millimètre d'épaisseur, puis des lettres métalliques, et exposant le tout à la lumière diffuse pendant trois heures, on obtient, après développement, une image noire des lettres se détachant sur fond clair.

Dans une note lue à l'Académie des sciences, le 20 avril, M. Perrigot fait voir que ce résultat s'explique très simplement, sans avoir recours à l'hypothèse d'une transformation par le métal des lettres des radiations lumineuses en radiations obscures capables de traverser l'ébonite, par un phénomène bien connu des photographes : la solarisation.

On sait, en effet, que si l'on prolonge l'action de la lumière sur une plaque au gélatino-bromure, la réduction du bromure d'argent, après avoir cru rapidement avec la durée d'exposition, passe par un maximum, puis décroît, de telle sorte qu'après développement, les portions de la plaque les plus impressionnées sont les plus claires et que cette plaque donne un cliché *positif* des objets photographiés.

Or, dans l'expérience de M. Le Bon, la feuille d'ébonite, peu épaisse, laisse passer les radiations lumineuses, comme M. Perrigot s'en est assuré, sauf toutefois aux endroits où sont collées les

lettres métalliques; par suite, la plaque, préalablement voilée, se trouvait soumise à une action prolongée de la lumière, sauf en ces endroits, et, d'après ce qui précède, doit donner au développement, des lettres noires sur fond clair.

Diverses expériences, faites par M. Perrigot, montrent l'exactitude de cette explication. L'une d'elles consiste à refaire l'expérience de M. Le Bon avec une plaque non voilée; les images des lettres se produisent alors en clair sur fond plus foncé. Dans une autre expérience la plaque d'ébonite était amincie suivant l'une de ses diagonales et, au contraire, renforcée suivant l'autre diagonale par le collage d'une bande d'ébonite; avec une plaque voilée, la première diagonale se détachait en clair et la seconde en foncé; avec une plaque non voilée on obtenait l'inverse, résultats conformes aux prévisions qu'on pouvait tirer du phénomène connu de la solarisation.

Les stations centrales de Hambourg (Allemagne). — *Statistique.* — Les stations centrales d'éclairage et de force de Hambourg ainsi que les sous-stations qui en dépendent sont toutes exploitées par une même compagnie municipale réunissant un capital d'au moins 10 millions de marks. Les stations centrales sont au nombre de 3 et il y a 5 sous-stations dont deux sont en cours d'installation.

Les stations sont celles de 1° Poststrasse, possédant 6 groupes de dynamos et de moteurs à vapeur d'une puissance totale de 3 600 chevaux et une batterie d'accumulateurs Tudor de 364 éléments.

2° Karolinenstrasse, 3 groupes comme les précédents d'une puissance totale de 6 000 chevaux et une batterie Tudor de 140 éléments;

3° Altona, 3 groupes de 500 chevaux chacun et une batterie Tudor de 140 éléments.

Les sous-stations, celle de 1° Saint-Georges, batterie Pollak de 136 éléments; 2° Saint-Pauli, batterie Tudor 136 éléments; 3° d'Uhlenhorst, batterie Tudor de 134 éléments. Les deux autres que l'on doit installer prochainement sont celle d'Harvestehude à Hambourg et celle de Rolandstrasse à Altona.

Au 31 décembre 1896 on comptait, pour le réseau de Hambourg seulement, 58 105 lampes à incandescence, 1 693 à arc et 298 moteurs consommant ensemble 3 971 kilowatts.

A la même époque, les tramways électriques desservant Hambourg, consommaient 1 566 kilowatts, soit 594 kilowatts de plus qu'en 1895. La dépense d'énergie était au 20 janvier dernier de 2 000 kilowatts.

La station d'Altona alimentait son réseau spécial auquel étaient raccordées, au 31 décembre 1896, 13 570 lampes dont 474 à arc et 63 moteurs dont la consommation s'élevait à 1 028 kilowatts. Les tramways électriques absorbaient de leur côté 150 kilowatts.

La situation d'exploitation est, paraît-il, satisfaisante et progresse continuellement, c'est pour cette raison que la Compagnie hambourgeoise d'électricité a récemment voté un crédit de 2 millions de marks pour les agrandissements des stations et l'installation de nouvelles stations secondaires.

A propos des incendies des stations centrales. — Nous avons récemment signalé (voir *L'Eclairage Électrique*, t. XI, p. 143 et 144; 10 avril 1896) les incendies de deux importantes stations centrales, l'une à Toronto et l'autre à Philadelphie. A ce propos notre confrère l'*Electrical Engineer* critique sévèrement les circonstances qui ont déterminé la destruction de ces usines. On ne peut, dit-il, donner le nom d'accidents à de semblables causes. En admettant qu'un court-circuit vienne à se produire en un lieu quelconque d'une usine bien comprise, jamais il ne devrait occasionner des conséquences aussi graves; d'ailleurs, quand on sait à quels dangers l'on est exposé et qu'on n'y apporte aucun remède préventif, il serait plus juste de qualifier ces soi-disant accidents d'imprévoyance ou de manque de soins apportés dans les installations.

Le déplacement d'un pont roulant, poursuit-il, est une opération souvent répétée dans une station centrale. Que la chaîne vienne en contact avec une dynamo et que le court-circuit résultant fonde l'induit qui se répand sous forme de coulée incendiaire sur un parquet graisseux, le court-circuit est, si l'on veut, accidentel, mais pourquoi un parquet en bois et de plus couvert de matières grasses? Ceci ne s'explique guère que par l'imprévoyance de ceux qui l'ont fait construire. En cherchant bien, on trouverait que, neuf fois sur dix, le mot accident ne cache qu'une cause due à l'imperfection ou au manque de prévoyance.

Les moteurs à vapeur, des dynamos en général, ont également leur part dans cette critique. Notre confrère trouve en effet que les constructeurs ont le tort de ne pas attacher assez d'importance à la considération des efforts statiques qui entrent en

jeu dans les organes de ces moteurs, particulièrement dans la manivelle unique d'un moteur adapté à la commande d'un seul arbre. Une telle manivelle doit déployer un effort statique environ sept fois plus considérable que celle d'un moteur à double action. Cependant, bien peu de constructeurs tiennent compte de ces conditions ; aussi les accidents qui en résultent ne font pas défaut. Ce qui est le plus regrettable, conclut-il, c'est que malgré les indications qu'ont données sur ce point des ingénieurs de talent tels que Fairbairn, Hodgkinson, Vöhler et d'autres, et les leçons pratiques qu'ils reçoivent à leur dépens, les constructeurs n'en poursuivent pas moins leurs errements dans cette voie.

Transport de force dans les ateliers à Rochdale (Angleterre). — Les machines des nouveaux ateliers de teinturerie et d'apprêtage de calicot de M. J. Chadwick, situés à Rochdale, près Manchester, sont entièrement mus par l'électricité. L'énergie est produite dans une petite station adjointe à l'usine par une dynamo multipolaire d'une puissance de 100 kilowatts qu'actionne à l'aide d'une courroie un moteur Corliss tournant à 86 tours.

La dynamo est à potentiel constant à 120 volts. Le courant qu'elle produit est d'abord contrôlé au tableau de distribution puis réparti dans les différents ateliers par des feeders logés dans des canalisations souterraines. Il y est utilisé par des moteurs dont la puissance varie de 3 à 10 chevaux actionnant diverses machines servant au blanchiment, séchage, teinture, apprêt, etc., des étoffes. Les presses à imprimer sont mues par des moteurs électriques de 10 chevaux munis, comme tous les autres, de rhéostats de démarrage, permettant en outre d'obtenir plusieurs vitesses.

La plupart de ces rhéostats sont métalliques, d'autres sont liquides ; les uns et les autres ont donné satisfaction. Un moteur de 10 chevaux attelé à une batterie de cylindres sécheurs et pourvu d'un rhéostat liquide, absorbe 110 ampères à 120 volts au démarrage et fonctionne normalement avec une moyenne de 65 ampères ; un autre de même puissance commandant directement une presse et muni d'un rhéostat métallique absorbe 75 ampères au début pour fonctionner ensuite à 35. Les rhéostats convenablement proportionnés pour ces deux genres de machines réalisent les conditions voulues de mise en marche et d'arrêt sans fatigue pour l'induit du moteur.

L'énergie électrique est utilisée jusque pour les plus infimes détails de cette industrie, depuis les malaxeurs de teinture jusqu'au pliage final de l'étoffe ; elle sert aussi à l'éclairage des ateliers à l'aide de 8 lampes à arc et 85 à incandescence.

Cette installation a fait l'objet d'une récente communication à la Manchester Association dans le but de généraliser les applications de l'électricité à la commande des transmissions dans les ateliers.

L'économie résultant de l'emploi de l'électricité dans le travail des métaux. — Dans une conférence faite au West of Scotland Iron and Sreel Institute, M. W. Dixon fait remarquer que l'emploi de l'électricité comme force motrice dans les usines métallurgiques d'Angleterre s'est encore bien peu répandu. Il espère que l'exemple récemment donné par la News Duquesne Steel Works (voir *L'Eclairage Electrique*, t. XI, p. 232, 24 avril 1897) sera apprécié et suivi par les industriels anglais.

Au cours d'un récent voyage en Amérique, M. Dixon a visité en détail de nombreuses stations centrales fournissant ensemble 30 000 chevaux électriques. Cette énergie est partiellement utilisée par 300 000 moteurs de toutes puissances compris dans 10 000 installations. New-York, à lui seul, ne compte pas moins de 15 000 moteurs électriques en service. Aussi, dit l'orateur, n'y a-t-il pas lieu d'être étonné de voir apparaître, sur les marchés européens, des produits vendus à un tarif inférieur au nôtre si l'on considère que les usines qui les livrent réalisent une économie annuelle de 70 à 75 000 fr résultant de l'emploi de l'électricité comme force motrice.

Après ce court exposé, M. Dixon aborde la question de la transmission de l'énergie par la vapeur. Il fait ressortir le mauvais rendement des longs arbres de transmissions et celui, pis encore, des courroies. Dans tous les cas, dit-il, soit qu'on adopte un seul moteur placé au centre des ateliers, soit que l'on emploie un moteur pour chacun d'eux, les pertes d'énergie dues aux transmissions multiples, d'une part, et celles occasionnées par le refroidissement de la vapeur dans les longues conduites, d'autre part, sont à peu près égales et surpassent de beaucoup celles qu'on aurait à subir avec une installation électrique même de médiocre rendement. Ainsi dans le système des moteurs disséminés, il arrive dans certains cas que la consommation de charbon atteint 80 kg par cheval-heure indiqué ; dans d'autres, on trouve une

dépense de près de 25 kg de vapeur pour la même puissance fournie.

W. Dixon compare ensuite à ces résultats le rendement d'une installation électrique moderne fonctionnant à demi et à pleine charge. En estimant le rendement des générateurs, 83 à 92 p. 100 ; celui des conducteurs (jusqu'à 400 m) de 98 à 93 p. 100 ; celui des moteurs (jusqu'à 10 chevaux), 78 à 80 p. 100, on obtient un rendement total moyen de 67 à 72 p. 100.

En admettant qu'avec un moteur à vapeur du type consommant environ 5 kg de vapeur par heure, la consommation de charbon ne dépasse pas 12,23 à 11,55 kg par cheval-heure dans les deux conditions de fonctionnement, on est encore loin de réaliser les avantages que procure une installation électrique bien comprise.

La traction électrique à Buénos-Ayres (République Argentine). — Le correspondant de *The Electrical Review* écrit de Buénos-Ayres que l'installation du réseau de tramways électriques qui doit desservir une partie de la ville est en bonne voie d'achèvement. La longueur totale des lignes qui pourront être livrées à la circulation le mois prochain est de 25,6 km. La station centrale sera en mesure de fonctionner à cette même époque. Son emplacement est situé à peu près au centre du réseau. La machinerie, dont on termine actuellement le montage, se compose de trois groupes identiques constitués par un moteur Ball et Wood de 450 chevaux couplé directement à une dynamo Walker d'une puissance de 300 kilowatts. L'un d'eux est destiné à servir de réserve. Les dynamos produiront du courant continu à 550 volts à la pleine charge correspondant à un débit de 550 ampères.

Il est à remarquer que les générateurs de vapeur de cette usine n'ont qu'une capacité juste suffisante pour le fonctionnement de deux groupes. Les quatre chaudières multitubulaires Stirling qui occupent la chambre de chauffe ne peuvent fournir plus de 900 chevaux réunis de sorte que, ajoute le correspondant, si on n'augmente pas le nombre de ces générateurs le moindre accident survenant à l'un deux immobilisera au moins l'un des groupes en marche.

Statistique des tramways électriques de l'État de Connecticut (Amérique). — Il est peu de contrées, de limites aussi restreintes, qui possèdent un réseau de tramways électriques aussi étendu que l'État de Connecticut. Il y a, en effet, autant de lignes dans cet État que dans la France et l'Allemagne réunies et trois fois plus qu'en Angleterre, Irlande comprise. Leur longueur, en voie simple, est de 547,34 km ; elles sont desservies par 408 voitures fermées et 498 ouvertes. Suivant le rapport du State Railroad Commissioners, ces voitures auraient, pendant le courant de l'année 1896, parcouru 16 218 037 km et transporté 51 961 922 voyageurs. La dépense d'énergie par voiture-km s'est élevée à environ 0,075 fr, les frais divers à 0,04 fr. Les recettes brutes ont été de 12 950 000 fr et les dépenses de 8 525 000 fr. Dans ce rapport n'ont pas été mentionnées les lignes en cours d'exécution ou celles récemment ouvertes à l'exploitation, qui représentent une longueur d'environ 17 km.

Les capitaux engagés dans l'industrie de la traction électrique s'élèvent à 75 millions de francs pour les lignes seulement et 10 millions pour leur équipement, soit un total de 85 millions de francs.

Les poteaux de lignes à trôlet.—Dans une étude intitulée Electric traction notes, M. B. Willard compare les poteaux en fer aux poteaux en bois, sous divers points de vue. Sous le rapport pécuniaire, ses calculs montrent que les premiers ne reviennent guère plus cher que les seconds, en tenant compte, bien entendu, du prix des matériaux en Amérique. Un poteau tubulaire, en acier coûte environ 75 fr et peut durer 30 années, tandis qu'un poteau en bois revient à 25 fr et ne dure que 12 années, au maximum. Les frais de pose sont approximativement les mêmes pour les deux espèces s'ils sont bétonnés au pied, soit 22 fr. environ. Dans les cas où les poteaux en bois sont directement enfoncés en terre, les frais de pose n'excèdent pas 11 à 12 fr, mais la durée du poteau est alors sensiblement diminuée, et cela selon la nature des terrains.

Dans l'emploi des poteaux en fer, l'auteur admet les données suivantes, relatives à des poteaux tubulaires destinés aux supports des tendeurs sur les bordures latérales de la ligne et dans les courbes. Il donne aux premiers une longueur de 8,40 m et aux seconds 8,70 m. Chacun d'eux est formé par deux tubes emboutis ; les supérieurs, longs de 3 m, ont un diamètre de 13,5 cm ; les inférieurs ont respectivement 15 cm et 17,5 cm. Le poids total de chacun des poteaux est de 317 et 455 kg. Ces poteaux sont placés dans des trous dont la profon-

deur varie de 1,80 m à 1,10 m; leur inclinaison ne doit pas dépasser 25 cm.

Quant aux poteaux en bois, M. Willard préconise le sapin jaune comme convenant le mieux sous le rapport de la forme et de la durée. Il recommande l'équarrissage de ces poteaux avec un chanfreinage d'angles de 3 à 4 cm; leur aspect s'en trouve notablement amélioré. Dans leur emploi aux mêmes usages que les poteaux en fer, leur longueur au-dessus du sol doit dépasser de 60 cm la longueur de ceux-ci. La base des supports latéraux doit avoir 27×27 cm de section et aller en diminuant jusqu'à n'avoir plus que 17×17 au sommet; on donne à ceux des courbes une section de 16 à 20 cm² plus forte; dans les deux cas ces poteaux doivent être enfoncés dans des trous ayant la même profondeur que pour les poteaux en fer; leur inclinaison doit être de 30 cm en raison de leur plus grande élasticité.

Statistique des télégraphes et des téléphones en en Allemagne. — D'une récente statistique dressée par les soins du département des postes et télégraphes de l'empire germanique, nous extrayons les chiffres relatifs à l'état de la téléphonie et de la télégraphie au 1er janvier 1896. Le réseau total embrassant toutes les lignes télégraphiques et les lignes téléphoniques interurbaines se trouvant sous l'administration de l'Empire avait un développement total de 386 085 km. A ce nombre il convient d'ajouter 40 329 km de lignes souterraines de toute nature et 6 820,47 km de câbles sous-marins appartenant à l'État et 6 385,30 km placés sous sa gérance. En récapitulant, on obtient pour le réseau total une longueur de fils de 43 9619,71 km. Ce chiffre accuse une augmentation de 21 206,74 km pour les lignes télégraphiques seulement. Le nombre des bureaux était de 17 903, dont 603 nouvellement installés. Les appareils en service comprenaient 12 346 télégraphes Morse, 492 Hugues 11 540 téléphones et 427 appareils divers. Parmi ces derniers on relève deux appareils du système Estienne, 186 sounders et 239 appareils auxiliaires.

Le nombre des éléments de piles en service s'élevait à 221 368, celui des isolateurs à 5 909 371 et celui des poteaux à 1 678 173.

Le trafic télégraphique accusait un total général de 34 602 830 télégrammes échangés, occasionnant une recette totale de 53 736 529 fr, soit 4 952 400 fr. d'excédent sur l'exercice précédent.

Quant au service téléphonique, comprenant 225 571 km de fils (réseaux urbains et interurbains), 135 675 appareils répartis entre 131 577 postes divers, renfermant ensemble 813 493 éléments de pile, il a donné lieu, pendant le même exercice, à 22 472 057 communications échangées tant à l'intérieur qu'à l'étranger.

La téléphonie en Europe et aux États-Unis. — Notre confrère *The Electrical Engineer*, vient d'établir une intéressante statistique d'où il ressort qu'en Europe il n'y a que 1 appareil téléphonique pour 970 habitants alors qu'aux États-Unis il y en a 1 pour 192 habitants. Il est vrai que ces calculs ont été établis d'après les recensement faits en 1890, mais les proportions ne paraissent guère changées aujourd'hui. On comptait en Europe à cette époque, 354 957 776 habitants et il y a actuellement 336 037 postes téléphoniques; la population des Etats-Unis était de 62 622 250 habitants et le nombre des postes téléphoniques est de 325 810. Quant au nombre des conversations, il est annuellement de 767 109 824 pour les Etats-Unis et de 757 000 000 pour l'Europe.

La contrée d'Europe la plus favorisée serait la Suède où l'on compte 136 habitants seulement par appareil. En Amérique, l'Etat de Massachusetts en a 95; le Bay State a presque autant d'appareils que la France entière, bien que la population soit 15 fois moindre. Enfin, si l'on établit la comparaison entre les villes des deux continents où la téléphonie est assez répandue, on trouve pour Londres une moyenne de 700 habitants par appareil, tandis qu'à Boston il n'y en a que 55.

Suivant notre confrère, le développement extraordinaire de l'emploi du téléphone aux Etats-Unis, est en partie dû à l'ingénieux système de téléphonie domestique et privée, organisé depuis quelques années. Dans la plupart des grandes villes américaines, les habitants sont reliés par voie téléphonique à tous leurs fournisseurs avec lesquels ils peuvent correspondre, par l'intermédiaire d'un bureau central, pour la modique somme de 2,5 cent (12,5 centimes).

L'emploi des lampes à haut voltage en Angleterre. — M. G.-L. Addenbrooke publiait dernièrement dans *The Electrical Review* une liste complète des stations d'Angleterre distribuant du courant sous une différence de potentiel de 200 à

230 volts, principalement sous celle de 220 volts, à des lampes à haut voltage.

Sur 39 réseaux cités, on en trouve 10 où l'emploi de ces lampes est obligatoire ; ce sont ceux des villes suivantes :

Bradford	220 volts
Birkenhead	230 »
Chester	210 »
Edinburgh	230 »
Harrow-on-the-Hill	220 »
Kensington	200 »
Saint-Pancras Vestry . . .	220 »
Wandsworth	200 »
Croydon	200 »
Islington	200 »

Sur la plupart des autres réseaux, l'emploi des lampes à haut voltage est complètement facultatif ; dans d'autres il est obligatoire pour toutes les installations nouvelles. Mais en général, obligatoire ou non, il tend de plus en plus à se généraliser.

Le compteur Hookham. — Le procès engagé depuis peu entre MM. Chamberlain-Hookham fabriquant le compteur Hookham et la maison Johnson et Phillips, fabriquant le compteur Perry, vient de se terminer à l'avantage des premiers. Les deux types de compteurs qui ont été le mobile de ce procès sont construits d'après les mêmes principes : un petit moteur qu'actionne le courant entraîne un disque, lequel, en passant entre les pôles d'une série d'aimants permanents, devient le siège de courants de Foucault qui opposent une résistance proportionnelle à la vitesse du moteur. M. Hookham emploie comme moteur un véritable induit enroulé dont une des extrémités de l'arbre porte le disque-frein. M. Perry, lui, se sert d'une coupe cylindrique en cuivre servant à la fois d'induit et de frein à courants de Foucault. Mais toutes ces modifications avaient été prévues dans le brevet original de Hookham, daté de 1887, de sorte que force fut au tribunal d'admettre que le compteur Perry était une contrefaçon de ce brevet. A la suite du jugement qui déclarait la nullité du brevet Perry, MM. Johnson et Phillips se sont efforcés de prouver que le compteur Hookham rentrait dans plusieurs anciens brevets, particulièrement dans un de MM. Ayrton et Perry où se trouve décrit le compteur à pendule avec la mention d'un compteur à moteur en forme de disque d'Arago. Mais aucune preuve de la réalisation d'un appareil pratique suivant cette description n'a pu être établie. De sorte que le compteur Perry devra, malgré ses qualités, être retiré du marché. Il est vrai que le compteur Hookham de plus en plus perfectionné ne lui cède en rien sous le rapport du bon fonctionnement et de l'exactitude.

Fabrication du celluloïd. — L'emploi assez fréquent du celluloïd en électricité nous engage à donner, sinon des détails complets, parce que chaque fabricant garde pour lui le secret de son procédé, mais du moins quelques aperçus de sa fabrication.

Suivant le *Trade Journals' Review*, on fait dissoudre du camphre dans une faible quantité d'alcool, puis on tamise la solution obtenue au-dessus d'une première couche de pyroxyle (coton-poudre) ayant été convenablement desséchée. Dès que l'on juge la couche suffisamment humectée, on en ajoute une seconde que l'on traite de la même façon et ainsi de suite, jusqu'à former un bloc suffisamment épais pour être laminé entre deux cylindres qui le compriment fortement. Le « gâteau » ainsi obtenu est découpé, suivant son volume, en deux ou trois morceaux que l'on soumet pendant 24 heures à l'action d'une presse hydraulique. Après ce traitement, les morceaux sont découpés en feuilles minces que l'on met à sécher dans une étuve chauffée à 50° environ où elles séjournent pendant 8 à 10 jours, au bout desquels on peut se servir du celluloïd pour l'estampage des articles à fabriquer. Les colorations diverses s'obtiennent, dès le début de l'opération, par l'addition de plusieurs substances sur la nature desquelles on ne possède aucun renseignement précis.

Les procédés de fabrication diffèrent, d'ailleurs, suivant les usines. D'après le *Gummi Zeitung*, la Compagnie Magnus, de Berlin, emploierait, pour fabriquer le celluloïd, 100 parties d'éther, 50 de collodion et 25 de camphre ; le tout est trituré ensemble dans un vase en terre jusqu'à ce que la masse gélatineuse obtenue ait acquis assez d'homogénéité pour être passée au laminoir.

A Saint-Denis où d'autres procédés sont employés, on se sert de l'alcool éthylique comme dissolvant.

Toutefois, on peut dire que le celluloïd se compose en général de deux parties, en moyenne, de pyroxyle et une de camphre, agglomérées et rendues homogènes par un dissolvant quelconque ; une plus grande proportion de camphre donne au produit une odeur forte qui en diminue la valeur.

Le Gérant : C. NAUD.

EVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XI. Samedi 15 Mai 1897. 4e Année. — N° 21.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTION SCIENTIFIQUE

ÉTUDE DES DÉCHARGES (¹)

CAUSES D'INÉGALITÉ DES POTENTIELS EXPLOSIFS STATIQUE ET DYNAMIQUE

Observations préliminaires

Le principe de la comparaison de deux potentiels explosifs dynamiques, par la méthode des deux excitateurs dérivés, est très simple en apparence. Mais si l'on opère par la méthode généralement suivie pour la comparaison de deux potentiels statiques, on rencontre dans la pratique des difficultés très considérables et on obtient des résultats très bizarres et très discordants.

J'examinerai *une à une* les causes d'erreur qui influent sur le potentiel explosif d'un excitateur donné. Ces causes agissent en sens opposé, s'enchevêtrent l'une dans l'autre et compliquent, de cette manière, étrangement le phénomène. Elles jouent un rôle considérable dans la question qui nous occupe parce qu'*elles exercent une action beaucoup plus grande sur les potentiels explosifs dynamiques que sur les potentiels explosifs statiques.*

Ces causes d'erreur ont leur source dans les influences suivantes :

1° Fréquence des étincelles ;
2° État des surfaces polaires ;
3° Lumière ultra-violette.

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique* du 8 mai, p. 289.

Observations générales sur quelques opérations.

1° *Polissage des pôles.* — Les étincelles ternissent les surfaces polaires entre lesquelles elles éclatent : dans la suite, on sera amené à enlever la couche d'oxyde formée. Le polissage des pôles dont il sera question ici, se fera d'abord avant de les placer sur l'excitateur, en les tenant dans la main et en frottant énergiquement leurs surfaces polaires avec une toile d'émeri assez fin pour ne pas les rayer.

On adapte ensuite les pôles à l'excitateur et, pour les polissages suivants, il sera inutile de les enlever. On se contentera de passer la toile d'émeri sur chaque surface polaire en frottant légèrement pendant une quinzaine de secondes. Pour plus de commodité, on prendra une bande d'émeri de quelques décimètres de long et de 15 cm de large environ, de cette manière, on ne sera pas gêné par les écrans des pôles de l'excitateur dont on parlera bientôt.

Pour que la distance explosive de l'excitateur ne varie pas par le polissage fréquemment répété des pôles, on serre fortement les pôles sur l'excitateur, de même que toutes les vis qui commandent un déplacement quelconque des branches de l'excitateur.

2° *Précautions contre la lumière ultra-violette.* — Pour protéger les surfaces polaires contre la lumière ultra-violette des effluves, aigrettes, etc. (fig. 9); 1° avant de visser les

pôles à l'excitateur, on place sur chacune des tiges isolantes qui supporteront les pôles, une plaque carrée de paraffine d'environ 1,5 dm de côté et 2 ou 3 mm d'épaisseur, percée en son centre d'un trou du diamètre de la tige isolante, on visse ensuite les pôles à l'excitateur; 2° en outre, on place devant et derrière l'excitateur deux écrans placés à 1 cm environ des écrans de paraffine des pôles et dépassant de tous côtés ces derniers de quelques centimètres.

L'observateur étant placé en O, ces deux écrans porteront : C, le nom d'écran *antérieur*, D, le nom d'écran *postérieur;* les écrans A et B, portés par les branches des excitateurs, s'appelleront *écrans des pôles* (fig. 9).

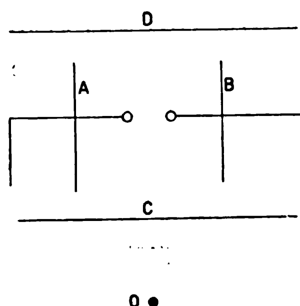


Fig. 9.

En somme, les pôles de l'excitateur sont renfermés, pour ainsi dire, dans une boite disloquée sans fond ni couvercle ; les diverses parties de la boite ne doivent remplir que cette seule condition de masquer la vue des surfaces polaires de tous les points des fils parcourus par la décharge.

Il suffit que les écrans soient opaques pour les rayons ultra-violets ; on emploiera à cet effet des plaques de verre, de papier noir, de paraffine, de clinquant, montées sur un petit support en bois.

Il faut éviter aussi qu'entre deux écrans voisins, ou entre un écran et le fil de décharge il éclate une effluve, visible des pôles de l'excitateur.

Les écrans des pôles A et B étant nécessairement très voisins des fils qui amènent la décharge aux pôles, seront faits en une matière parfaitement isolante comme la paraffine ou en une matière conductrice comme le cuivre et dans ce cas directement en contact avec le fil de décharge; dans l'un ou l'autre cas, on évitera les effluves qui pourraient éclater entre le fil et l'écran si ce dernier était un corps imparfaitement isolant.

Lorsque les écrans des pôles sont en matière isolante, il peut arriver que d'une surface polaire de l'excitateur on voie une faible portion du fil qui amène la décharge à l'autre pôle; ceci n'arrive jamais si le diamètre des pôles est égal ou supérieur au diamètre de la tige isolante qui le supporte : ce fait s'est présenté, dans nos expériences, pour les pôles dont le diamètre est de 1 mm, 3 mm et 5 mm, dont le renflement n'a pas un diamètre suffisant pour masquer entièrement le fil qu'il serre contre l'isolant (p. 4). D'une surface

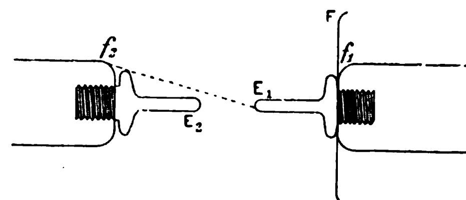


Fig. 10.

polaire E_1, on voit la partie courbe f_2 du fil qui amène la décharge au pôle opposé E_2 (fig. 10). Pour éviter l'action de l'effluve qui pourrait s'échapper de cette partie courbée, on place, entre le fil f et le renflement, une petite flotte F en clinquant dont les bords sont recourbés du côté opposé des pôles de l'excitateur comme on le voit en E_1 (fig. 10) et dont la surface est assez grande pour cacher entièrement les fils de décharge. Si on élargit le diamètre de cette flotte, on obtient des *écrans métalliques*. Ces derniers arrêtent et suppriment avec sûreté les effluves et rendent les écrans isolants inutiles.

Ces écrans métalliques (fig. 11) sont formés d'une feuille circulaire de clinquant de quelques $\frac{1}{10}$ de millimètre d'épaisseur et de 6 à 10 cm de diamètre, dont les bords sont recourbés comme l'indique la figure.

Chaque écran est percé d'un trou central de

diamètre suffisant pour être traversé aisément par la petite tige filetée en forme de vis de chacun des pôles à étudier ; le fil qui amène

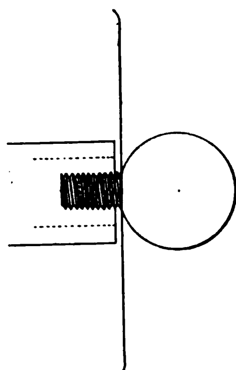


Fig. 11.

la décharge est serré entre la base du petit cylindre isolant et l'écran métallique par la vis du pôle soumis à l'expérience : l'écran sert de flotte à la vis du pôle.

§ I. Différence d'action de la fréquence des étincelles sur les potentiels explosifs statique et dynamique.

a). *Potentiels explosifs statiques.*

Faraday a signalé le premier que, lorsque deux étincelles se succèdent à trop bref intervalle, la seconde éclate pour un potentiel plus petit que la première. Cette influence est très marquée dans les expériences en vase clos, comme l'a montré M. Baille ; elle est moins considérable quand l'excitateur est placé à l'air libre, mais on la constate aisément : elle est due, en partie, à l'échauffement de l'isolant par l'étincelle.

Si on fait une série de mesures du même potentiel explosif à l'électromètre, on constate très nettement que la première étincelle se produit à un potentiel légèrement plus élevé que les suivantes, même si elles se succèdent à un intervalle d'une minute environ.

Lorsqu'on veut examiner comment varie le potentiel explosif quand on fait éclater rapidement les étincelles les unes après les autres, on se sert de la méthode des deux excitateurs dérivés.

Expérience. — Je ne rapporterai que l'expérience suivante (fig. 12). E et N sont des excitateurs sphériques presque identiques de 1,65 cm de diamètre, dont les pôles sont réunis aux armatures d'une jarre de capacité 0,005 microfarad, chargée par une machine de Holtz. On fait éclater les étincelles à raison de une ou deux par seconde, environ. Si E = 2 mm et N = 2,10 mm, toutes les étincelles éclatent en E et pour faire passer les étin-

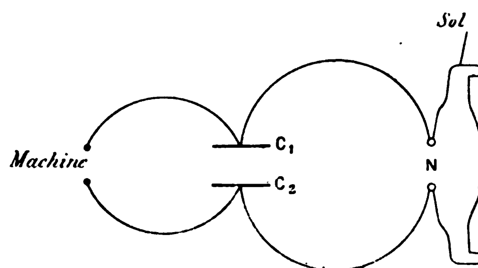


Fig. 12.

celles par l'excitateur N il faut amener ce dernier à une distance explosive de 1,70 mm.

Le potentiel explosif de E pour la distance explosive 2 mm et pour ce régime d'étincelles est donc réduit au potentiel de la première étincelle de N pour la distance explosive 1,70 mm.

M. Baille avait trouvé directement un résultat du même ordre de grandeur (1).

Quand les étincelles se succèdent très rapidement, ce potentiel explosif tend vers zéro, en même temps que la durée qui sépare deux étincelles, car si deux décharges se succèdent sans intervalle le potentiel explosif peut être considéré comme nul, le champ de l'excitateur étant constamment traversé par un courant.

Mais, lorsqu'il s'agit de trouver les distances explosives équivalentes de deux excitateurs, il importe peu que chacun des potentiels explosifs reste constant, il suffit qu'ils se modifient tous les deux dans le même rapport.

L'expérience montre que, pour les poten-

(1) Baille. *Ann. de Chimie et de Physique*, 5e S., t. XXV, p. 512.

tiels explosifs statiques il en est ainsi si les étincelles éclatent avec la même fréquence aux deux excitateurs. On opère de la façon suivante :

Soient deux excitateurs E et N chargés à chaque instant au même potentiel par une machine de Holtz tournant d'une façon continue.

On maintient la distance explosive de l'un des excitateurs E constante et on fait varier la distance de N de la manière suivante : si l'étincelle éclate en E, on diminue la distance explosive de façon que l'étincelle éclate en N et inversement. Après quelques tâtonnements, on arrive à ce résultat en faisant varier la distance explosive de 1/10 ou 15/100 de millimètre.

On pourrait donc se servir de la *méthode des étincelles fréquentes et alternatives* pour déterminer les distances explosives équivalentes de deux excitateurs chargés par une machine électrostatique. Si on laisse éclater successivement plusieurs étincelles à l'un ou l'autre des excitateurs, on obtient des résultats moins précis, comme l'a constaté M. Baille.

b). *Potentiels explosifs dynamiques.*

Dans la méthode des excitateurs dérivés, si plusieurs étincelles éclatent successivement à l'un des excitateurs, il faut modifier la distance explosive de l'autre dans des limites très considérables pour y faire éclater une étincelle, comme le montre l'expérience suivante :

Expérience. — Si N est formé de deux sphères de 1,65 cm de diamètre, E de sphères de 1 mm, les distances explosives statiques équivalentes étant 3 mm et 7 mm ; si l'on maintient N constant et que l'on fasse éclater en N un certain nombre d'étincelles, par la méthode dynamique, à raison de deux par seconde environ, pour faire éclater une étincelle en E il faut amener, au bout de quelques secondes, la distance explosive E à 3 mm environ. Pour faire éclater alternativement l'étincelle en E et en N, il faut, en général, faire varier la distance de 1 mm environ, sur une distance moyenne de 5 mm.

Pour faire éclater des étincelles statiques et dynamiques, dans des conditions identiques, il faut attendre que l'influence perturbatrice d'une étincelle sur la suivante ait cessé. D'autre part, si l'on veut mesurer le potentiel explosif statique de l'excitateur, la charge de l'électromètre employé ne peut se faire qu'en une minute environ.

On est donc conduit à cette règle :

Règle. — Dans la comparaison des distances explosives statique et dynamique, on fera éclater les étincelles régulièrement, à un intervalle d'une minute environ.

Conséquences et conclusions.

I. — Un changement de fréquence d'étincelles exerce une influence plus grande sur les potentiels explosifs dynamiques que sur les potentiels explosifs statiques.

II. — A fréquences égales, et même très grandes, un excitateur se décharge avec plus de régularité dans la charge par une machine électrostatique que dans la charge dynamique Ceci explique le résultat de MM. Ebert et Wiedeman, que l'excitateur de Hertz fonctionne plus régulièrement quand on remplace la bobine de Ruhmkorff par une machine électrostatique à grand débit [1].

III. — Les divergences constatées entre les potentiels explosifs statiques, mesurés par les différents expérimentateurs, dépendent en partie de la durée qui s'écoule entre deux étincelles, durée variable d'un expérimentateur à l'autre, suivant l'amortissement de l'électromètre employé et le condensateur utilisé.

§ II. Différence d'action de l'état des surfaces polaires sur les potentiels explosifs statique et dynamique.

Lorsqu'on fait éclater successivement plusieurs étincelles à un excitateur préalablement

[1] *Wied. Ann.*, t. XLIX, p. 1.

poli à l'émeri, les surfaces entre lesquelles éclatent les étincelles se ternissent par suite d'une oxydation ou de toute autre action; de plus, ces surfaces sont corrodées par l'arrachement de parcelles métalliques. Nous étudierons ici l'influence de cette action des étincelles sur les potentiels explosifs statique et dynamique.

a). *Potentiels explosifs statiques.*

La plupart des expérimentateurs qui se sont occupés de potentiels explosifs statiques n'ont signalé aucune action particulière de l'état des pôles d'un excitateur plus ou moins terni par les étincelles. Toutefois, M. Baille (¹) appelle incidemment l'attention sur cette influence. Cette oxydation des pôles augmenterait la distance explosive, aussi recommande-t-il de nettoyer et de polir fréquemment les pôles.

D'autre part, M. Heydweiler (²) a montré que le potentiel explosif statique n'est pas influencé sensiblement par l'action oxydante des étincelles.

En mesurant les potentiels explosifs d'un excitateur terni par un long usage puis fraîchement poli, on ne peut déceler une action bien nette du poli des pôles.

La concordance des mesures faites par un même expérimentateur avec un excitateur plus ou moins terni par les étincelles fournit une autre preuve de l'influence peu marquée de l'oxydation des pôles sur le potentiel explosif statique.

Nous conclurons donc :

Lorsque les surfaces polaires d'un excitateur préalablement poli se ternissent sous l'action des étincelles, le potentiel explosif statique et, par suite, la distance explosive statique, ne subissent que des modifications très faibles, en général, et souvent inappréciables.

b). *Potentiels explosifs dynamiques.*

L'influence du poli des pôles de l'excitateur sur les potentiels explosifs dynamiques sera mise en évidence par la méthode des deux excitateurs dérivés.

Je donne ici un extrait de mes tableaux d'expériences où se trouvent reproduites les données correspondantes à chaque étincelle pour bien préciser la nature du phénomène.

Les lettres S et D indiquent le mode de charge statique ou dynamique.

Expériences. — Excitateur principal I : sphères de 2 cm de diamètre.

Excitateur dérivé E : sphères en laiton de 1 mm de diamètre, préalablement polies à la toile d'émeri, montées sur isolant et munies d'écrans en paraffine ; on maintient les surfaces polaires de E polies en les frottant avec de la toile d'émeri sans les démonter de l'excitateur.

Excitateur dérivé N : sphères de 1 cm de diamètre ternies par un long usage, montées sur isolant et munies d'écrans en paraffine.

On fait éclater les étincelles toutes les minutes.

I = 4 mm.

	N° d'ordre des expériences.	Distance explosive de N en mm.	Distance explosive de E en mm.	Mode de charge des excitateurs E et N.	Excitateur dérivé auquel l'étincelle éclate.
	1	3	6,8	S	E
De 3 à 14 on diminue progressivement N.	2	3	7	»	N
	3	3	»	D	E
On repolit E.	14	0,7	»	»	»
»	15	0,5	»	»	N
»	16	0.7	»	»	E
»	17	0,7	»	»	»
	18	3	7	S	N
On polit N.	19	»	»	D	»
	20	»	7,15	»	»
On repolit E.	21	»	6,9	»	»
	22	»	»	S	E
On repolit E.	23	»	»	D	»
On repolit E et N.	24	»	7	»	N
	25	»	»	S	E
On repolit E et N.	26	»	»	D	»
»	27	»	7,10	»	N
	28	»	»	S	»

(¹) Baille, *Annales de Chimie et de Physique*, 1882, 5ᵉ S., t. XXV, p. 512.

(²) Heydweiler, *Wied. Ann.*, 1893, t. XLVIII, p. 217.

L'excitateur E étant maintenu dans un état invariable et à une distance explosive constante de 7 mm son potentiel dynamique V' est constant.

Si N *est terni par les étincelles*, la distance explosive dynamique de N qui correspond à V' est comprise entre 0,70 mm et 0,50 mm : expériences 14, 15, 16.

Si N *est poli*, la distance explosive de N qui correspond à V' est voisine de 3 mm : expériences 23, 24, 26.

Ainsi, suivant que N est poli ou terni, la distance explosive de N varie de 3 mm à 0,70 mm environ.

L'excitateur E étant maintenu dans un état constant à une distance explosive constante de 7 mm, son potentiel explosif statique est constant. Désignons-le par V.

Si N *est terni par les étincelles*, la distance explosive statique de N, qui correspond à V, est supérieure à 3 mm : expériences, 2, 18.

Si N *est poli*, la distance explosive statique de N, qui correspond à V, est inférieure à 3 mm : expérience 25.

L'action oxydante des étincelles semble donc augmenter la distance explosive statique.

Conclusions.

I. — *Quand les surfaces polaires d'un excitateur se ternissent sous l'action oxydante des étincelles, la distance explosive dynamique correspondant à un potentiel dynamique quelconque subit une diminution irrégulière qui peut devenir très considérable; tandis que la distance explosive statique reste sensiblement constante ou semble plutôt augmenter légèrement.*

Si l'on suppose que les potentiels explosifs statique et dynamique d'un excitateur poli, placé à l'abri de radiations électriquement actives, sont égaux entre eux, il résulte des considérations exposées page 7 et des conclusions précédentes que :

II. — *Le potentiel explosif dynamique d'un excitateur terni est supérieur au potentiel statique.*

La variation très irrégulière de la distance explosive dynamique d'un excitateur terni rend compte du peu de précision avec lequel on peut déterminer la distance explosive dynamique par le procédé des étincelles fréquentes. Dans cette méthode on se sert forcément d'un excitateur terni.

Explication de la différence d'action de l'oxydation des pôles sur les potentiels explosifs statique et dynamique.

La mince couche d'oxyde formée par les étincelles n'est pas une couche bonne conductrice de l'électricité. Lorsque la charge se fait très rapidement, par la méthode dynamique, l'électricité est distribuée sur la surface de la partie conductrice des pôles de l'excitateur au-dessous de la couche d'oxyde. Cette couche joue, dans la charge dynamique, le rôle d'un diélectrique solide. Pour qu'une décharge éclate entre les pôles de l'excitateur, l'électricité doit, non seulement traverser l'air, mais encore la mince couche d'oxyde; or, pour percer un diélectrique solide, il faut une différence de potentiel beaucoup plus considérable que pour percer la même épaisseur d'air; le potentiel explosif dynamique d'un *excitateur terni* sera donc plus grand que le potentiel explosif de l'*excitateur poli* et, comme on le démontre plus loin, la distance explosive dynamique croît en même temps que le potentiel explosif dynamique.

La distance explosive dynamique d'un excitateur poli diminue quand les surfaces polaires se ternissent sous l'action des étincelles.

Dans la charge statique, la charge de l'excitateur se faisant lentement, la couche d'oxyde, qui est douée d'une certaine conductibilité, joue le rôle de conducteur. L'électricité est distribuée à la surface libre de la couche d'oxyde.

La décharge, pour se produire, n'a pas à traverser de diélectrique solide ; elle ne doit percer qu'une couche d'air, d'épaisseur très peu inférieure à celle qu'elle aurait à percer si l'excitateur était poli.

Le potentiel explosif statique de l'excitateur terni est donc un peu plus petit que le potentiel explosif de l'excitateur poli (ce que montrent certaines expériences).

La distance explosive statique augmente très peu quand les surfaces des pôles se ternissent sous l'action des étincelles.

Dans ce qui précède, nous avons supposé que l'un des excitateurs dérivés était maintenu dans un état constant et, pour cela, nous nous sommes contentés de frotter ses surfaces polaires avec une toile d'émeri fin, pendant 1/4 de minute environ, après chaque étincelle. La régularité des résultats que l'on obtient, quand les deux excitateurs dérivés sont polis, est une preuve de l'exactitude de notre supposition.

En frottant les pôles de laiton, ternis par plusieurs centaines d'étincelles, avec une toile d'émeri fin, pendant une minute ou une minute et demie, on enlève complètement la couche d'oxyde qui s'est formée.

L'oxyde de laiton est très peu adhérent.

Il n'en est pas de même pour tous les métaux : le platine et l'argent se recouvrent d'une couche d'oxyde plus adhérente et plus difficile à percer que le laiton ; les pôles de fer, surtout, se recouvrent d'un oxyde très difficile à enlever par le procédé indiqué. Lorsque ces pôles de fer ont servi pendant quelque temps, il faut exercer un frottement très énergique pour polir les surfaces de l'excitateur, de façon que les distances explosives dynamiques de deux excitateurs identiques au point de vue géométrique, soient égales pour le même potentiel dynamique. Si les pôles de fer oxydés par l'étincelle sont polis par le même procédé que les pôles de laiton, on peut observer entre les deux distances explosives, qui devraient être égales, des différences qui, dans certaines expériences, ont été de l'ordre du 1/3 ou du 1/4 de l'une d'elles (p. 24).

Si l'on remarque, en outre, que les pôles à grande courbure, de 1 mm et 3 mm de diamètre, se déforment facilement par l'action répétée de la toile d'émeri et que leur distance explosive dynamique s'altère rapidement et profondément par les étincelles, on est amené à la règle pratique suivante :

RÈGLE. — *On déterminera une distance explosive dynamique entre des pôles en laiton de 1 à 2 cm de diamètre polis après chaque étincelle.*

(*A suivre.*)

R. SWYNGEDAUW,
Maître de conférence à la Faculté de Lille.

APPLICATIONS MÉCANIQUES
DE L'ÉLECTRICITÉ

On a souvent décrit l'ingénieux transporteur de bagages de M. ASPINALL, ingénieur du matériel au Lancashire and Yorkshire R[ay] ; les figures 1 à 3 représentent le détail de la partie électrique de cet appareil fort bien étudié et qui fonctionne avec succès.

L'appareil roule sur des rails isolés b, b_1, qui sont suspendus par des étriers réglables en a, et qui lui amènent le courant par frottement sur les bandages isolés des roues c_3 et les balais $d\,d$, reliés aux bornes de la dynamo e par un commutateur indiqué en figure 3. L'arbre de cette dynamo commande par les vis sans fin f_1 et g_1, embrayables à volonté au moyen du double embrayage $h\,g\,f_3$, à levier h_1, de manière à lui faire actionner soit l'avancement du chariot, soit la levée ou la descente de la charge. Un frein à bande f_5, manœuvré par le levier f_6 et la corde f_7, permet d'arrêter immédiatement la dynamo.

L'ouvrier assis dans la courroie k, avec ses jambes en c_q, manœuvre le commutateur $m\,m_1$ (fig. 3) solidaire du levier d'embrayage h_1, par les poignées q_1, q_2, q_3, q_4 ; suivant qu'il tire q ou q_1, il embraye h avec g_3, et fait passer le courant à la dynamo par $n\,n_2$ ou par $n_1\,n_2$, de manière à renverser sa marche, lever ou descendre la charge ; le même renversement se produit en tirant q_2 ou q_4, mais avec l'em-

brayage hf_3, de manière à faire avancer ou reculer le chariot.

Le régulateur D de l'ascenseur électrique Herdmann, représenté par la figure 4, agit en augmentant ou réduisant par F les résistances f', interposées dans le circuit de l'armature de la dynamo A, à frein a'; mais la manœuvre G_3 G_2 G', qui commande de la cabine le commutateur de A, commande aussi,

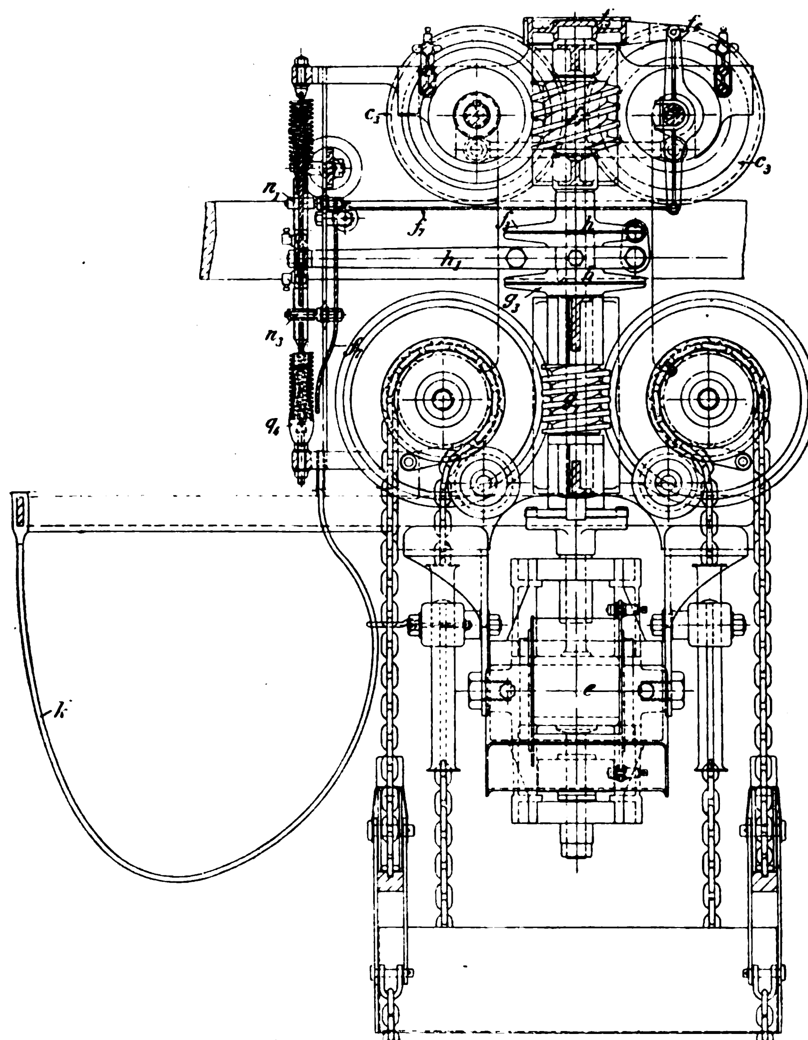


Fig. 1. — Transporteur Aspinall; vue de face.

par la came h_2, un second bras H', permettant de faire varier par H les résistances introduites dans le circuit des inducteurs de la dynamo. A cet effet, quand h_2 descend, il permet au poids d'abaisser H' jusqu'à la rencontre de son balai avec F, dont la position limite ainsi la résistance totale que l'on peut introduire immédiatement dans le circuit de la dynamo.

La manœuvre d'ascenseur représentée schématiquement en figure 5 est complétée par l'addition d'un frein Q, commandé par un solénoïde 74, dans le circuit de l'armature de la dynamo E. Quand l'ascenseur monte avec sa charge normale, et qu'on ralentit par les rhéostats, il passe toujours dans l'armature, jusqu'à l'arrêt, un courant assez intense pour permettre à 74 de maintenir le frein desserré ;

mais, avec une faible charge, il n'en est pas de même, le courant qui passe alors en 74 à la vitesse normale de l'ascenseur est si faible que, dès qu'on le diminue, le frein serre proportionnellement à cette réduction, malgré l'action du solénoïde 73, monté en opposition à 74 et en dérivation sur le circuit de l'armature de E. De plus, quand on coupe le cir-

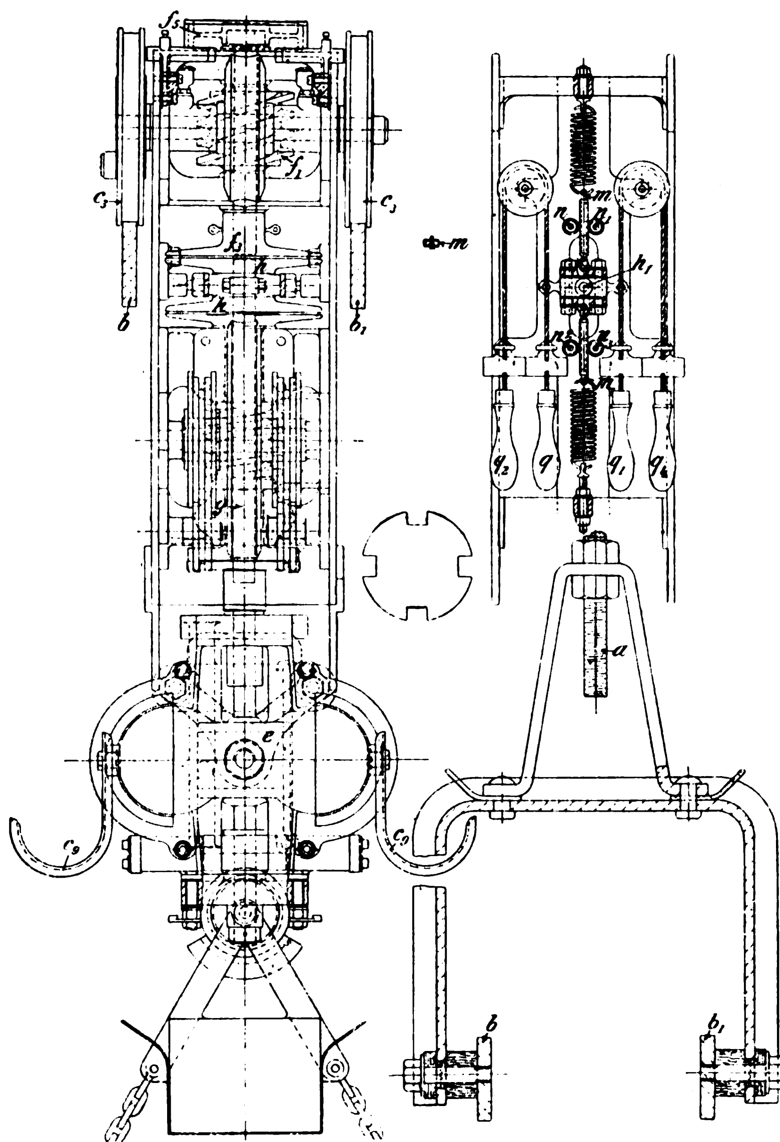


Fig. 2 et 3. — Transporteur Aspinall; vue par bout. Détail du commutateur.

cuit de E, on envoie, en même temps, le courant dans un transformateur moteur qui, faisant passer en 74 un courant de même sens que celui de 73, serre très fortement le frein. Enfin, quand on relie par P', l'électro-aimant 76 à q_2 q_4 ou q_3 q_4, cet aimant, trop faible pour soulever 73 à lui seul, le maintient dès qu'il a été levé par 76, et au moyen de l'armature 75, de manière que le frein reste alors desserré et inactif tant que le circuit de la dynamo n'est pas complètement rompu. Le solénoïde 74 est, de plus, relié à l'électro de sûreté 101, relié au circuit des inducteurs de E, et qui, dès que le courant cesse d'y passer,

lâche son armature, coupe 74 du circuit de l'armature et serre le frein.

L'ascenseur à câble de Wellmann (fig. 6 à 9) a son mouflage commandé par la prise de la vis A, rainurée sur B, dans la crémaillère, qui porte la poulie mobile E, et l'arbre B est commandé par un étrier T, calé sur lui, et porteur des deux pignons I et J, engrenés entre eux en même temps qu'avec les vis G et H, menées séparément, des dynamos M_1

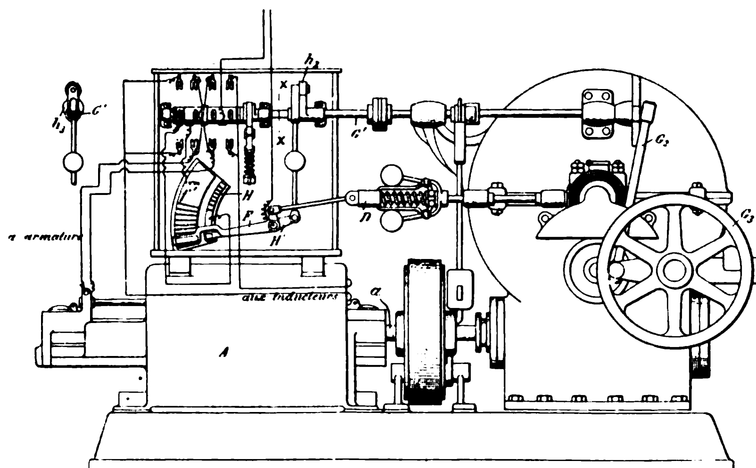


Fig. 4. — Ascenseur Herdmann (1896).

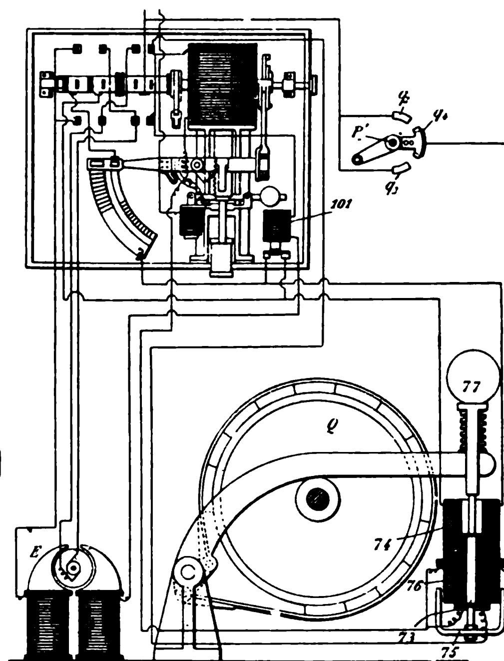


Fig. 5. — Ascenseur électrique Herdmann.

et M_2, par K et L; si les vitesses de G et de H sont égales et du même sens comme en figures 7 et 8, B ne tourne pas; si elles sont égales et opposées (fig. 7), B tourne à leur vitesse. Si l'une est fixe, B tourne à la moitié de la vitesse de l'arbre, et l'on peut ainsi, en faisant varier les vitesses relatives de H et de G, imprimer à B des vitesses variant d'une

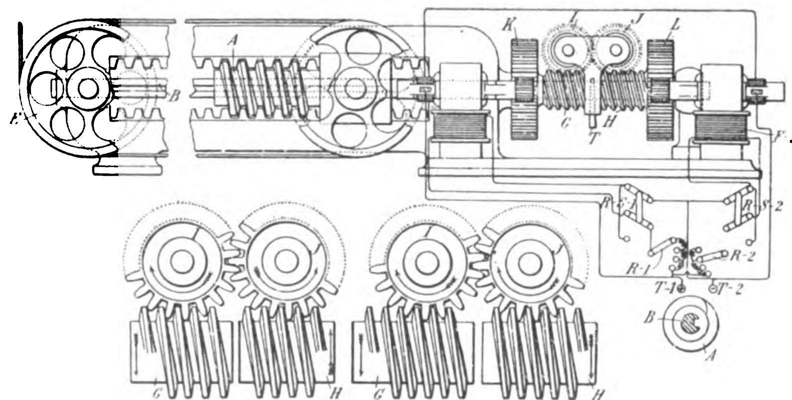


Fig. 6 à 8. — Ascenseur à câbles Wellmann (1896). Élévation. Détail de la commande de B.

façon continue depuis zéro jusqu'à la vitesse même des vis H et G. Les armatures des deux dynamos sont reliées en séries aux prises du courant T_1 et T_2, et leurs inducteurs F_1 et F_2 en quantité, avec résistances et commutateurs, R', Rs', Rs², permettant de faire à volonté varier leurs vitesses en grandeur et en direction.

L'ascenseur hydro-électrique de J. Parkinson fonctionne comme il suit. Pour la montée de la cabine G (fig. 10 à 15), la dynamo A fait, par le treuil F, descendre le

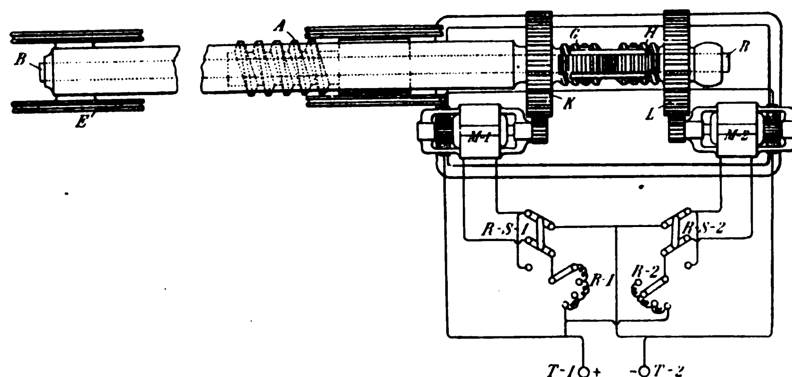


Fig. 9. — Ascenseur Wellmann. Plan.

piston C', suivi par l'eau de la colonne d'équilibre LK, qui descend avec lui au travers des clapets M, M. Pour la descente, la dynamo n'a qu'à laisser le piston C' remonter

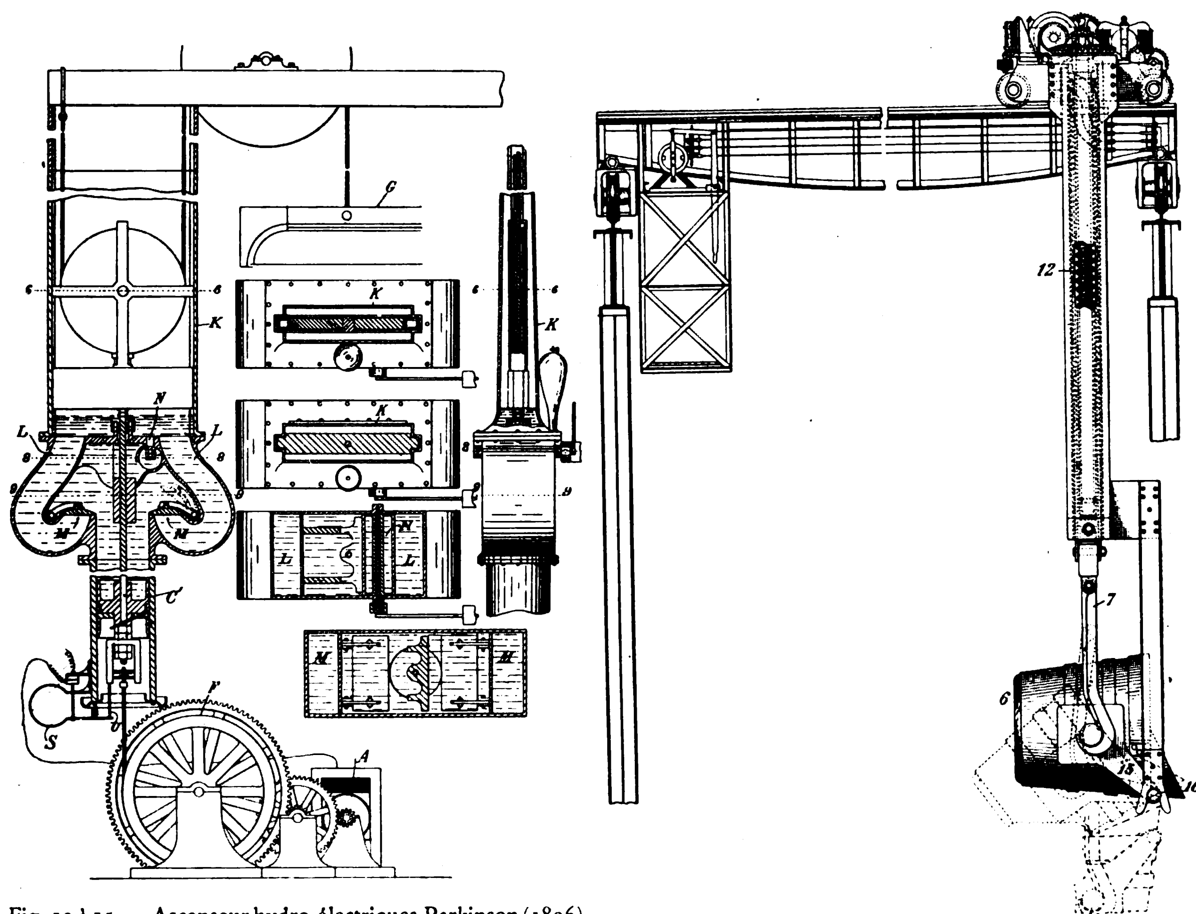


Fig. 10 à 15. — Ascenseur hydro-électriques Parkinson (1896). Coupe verticale, coupes 6-6, 8-8 et 9-9.

Fig. 16. — Grue de fonderie Aiken (1896). Élévation.

sous l'action du poids de la cabine et de son câble, l'augmentation du poids de ce dernier, à mesure de la descente, étant équilibré par l'eau qui passe en K au travers du robinet N,

dont la fermeture arrête la cabine au point que l'on veut de sa course. De plus, au haut de la course de la cabine, un interrupteur SU rompt le circuit de la dynamo. On obtient

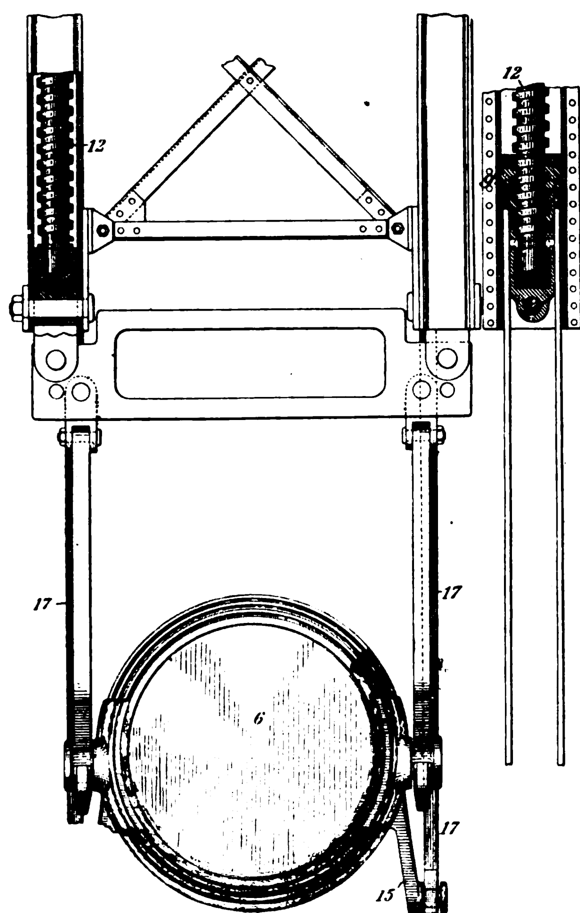


Fig. 17. — Grue de fonderie Aiken. Détail du basculage de la poche.

ainsi une marche sûre et très douce sans aucune trépidation de la cabine.

Les applications de l'électricité à la commande des appareils de manutention et des machines-outils dans les forges se développent de plus en plus, principalement aux États-Unis, en raison surtout de leur extrême facilité d'installation en tout point et à quelque distance que ce soit de la génératrice ; comme exemples, je citerai aujourd'hui la grue de fonderie d'*Aiken* et l'enfourneur de *Wellmann*.

Dans la grue d'Aiken (fig. 16) la poche de coulée 6 est levée par deux vis 12, à écrous commandés par une dynamo, et sa bascule s'opère, au haut de sa levée, par la rencontre de ses bras 15 avec les fourches 16 des butées 17.

L'appareil de M. Wellmann fonctionne (fig, 18 à 24) comme il suit. Après avoir, par la dynamo 37 (fig. 22), reculé sur ses rails 5 le chariot 11 etl'enfourneur 16, soulevé (fig. 18) autour de ses tourillons 14 par la dynamo 31 et les bielles 34, on amène devant lui le wagonnet 20, à lingotières 19. On abaisse 16 sur la première poche, dans laquelle il s'enclenche par son bourrelet 18, puis s'assujettit en 25 par le verrou 24, que manœuvre le levier 26, et l'on enfourne la poche ainsi saisie en avançant par 37 le chariot 11. On fait ensuite tourner, par la dynamo 30, l'enfourneur 16 dans son berceau 15, de manière à déverser la charge dans le four, après quoi l'on repose 19 sur son wagonnet, etc. Cet appareil, d'un maniement fort simple n'est d'ailleurs qu'un développement de l'enfourneur hydro-électrique du même constructeur employé depuis longtemps dans les forges américaines, notamment aux ateliers de Joliet [1].

L'électricité s'applique, cela va sans dire, parfaitement à la manœuvre des déclenchements, etc., que l'on rencontre fréquemment dans les appareils de pesage automatique. Je citerai comme exemple ceux de Richards, construits par la maison Pratt-Whitney, et qui ont été récemment amenés à un rare degré de perfection et d'adaptabilité presque universelle.

Dans la postion (fig. 25) le chargement du bac G commence ; le remplisseur F, commandé par la dynamo M, dont le circuit 25-25′ est fermé par 27′, tourne à son maximum de vitesse, et la matière à peser tombe rapidement de la trémie H en G. Lorsque G est

[1] *Bulletin de la Société d'Encouragement*, décembre 1896, p. 1654.

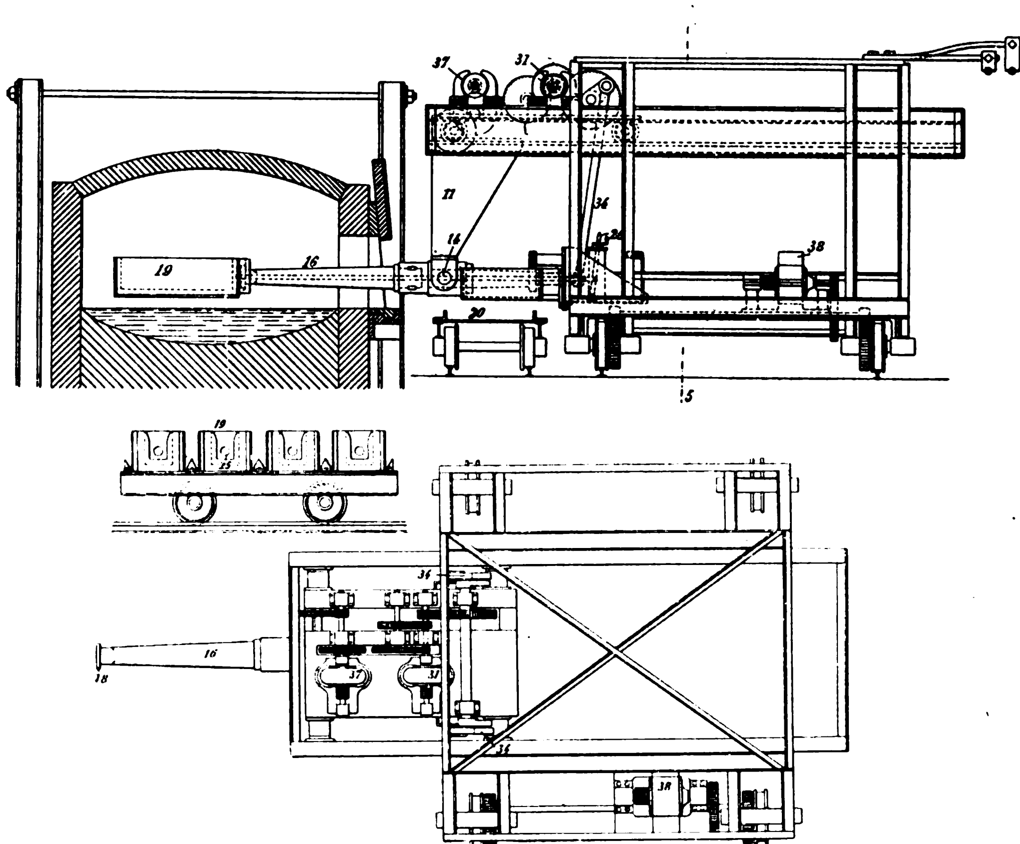


Fig. 18 à 20. — Enfourneur Wellmann (1896). Élévation, plan, détail du chariot porte-poche.

à peu près rempli au poids réglé par la masse W, il commence à descendre, et le levier B, suivi par le galet 27″, laisse le ressort 30 amener (fig. 26) le contact 27′ de 25-25′ à 26-26′ (fig. 31), de manière à introduire la résistance c' dans le circuit de la dynamo, qui, se ralentissant ne laisse plus tomber en G qu'un filet de matière. On évite ainsi toute erreur de pesée du fait de la force vive de cette chute.

A la fin de la pesée et du remplissage

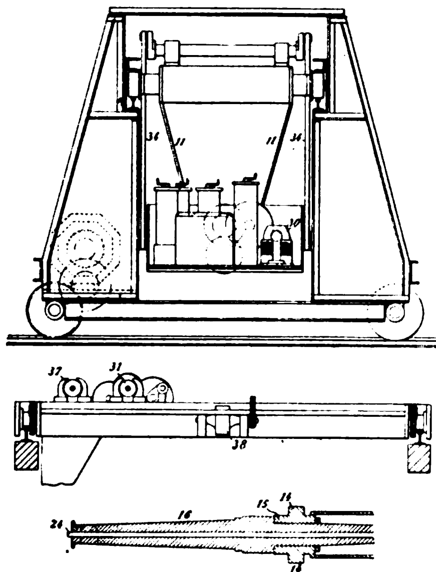


Fig. 21 à 23. — Enfourneur Wellmann, vue par bout. Détail de la commande du chariot et du bras.

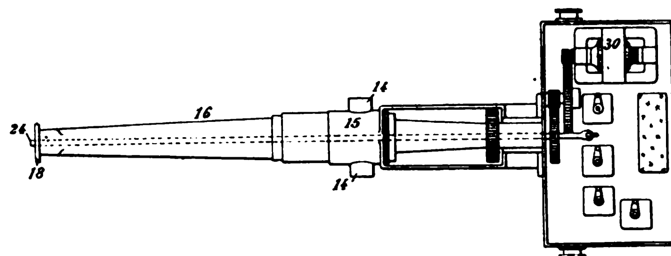


Fig. 24. — Enfourneur Wellmann. Plan de la commande du bras.

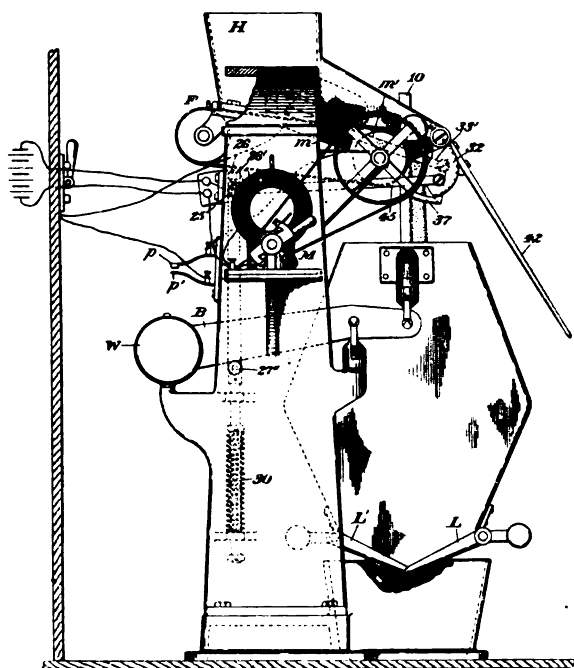


Fig. 25. — Balance automatique Richards (1896). Commencement de la pesée, vue de gauche.

de G, W ferme (fig. 27) en pp' le circuit du solénoïde m, qui, attirant son armature

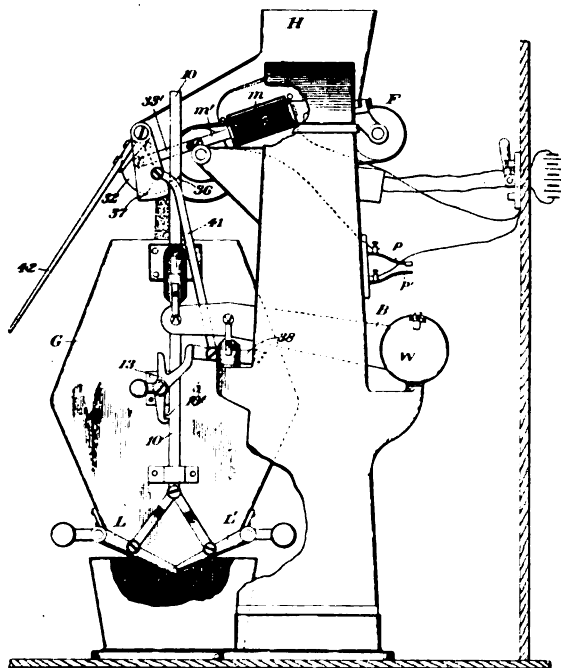


Fig. 26. — Balance automatique Richards. Commencement de la pesée, vue de droite.

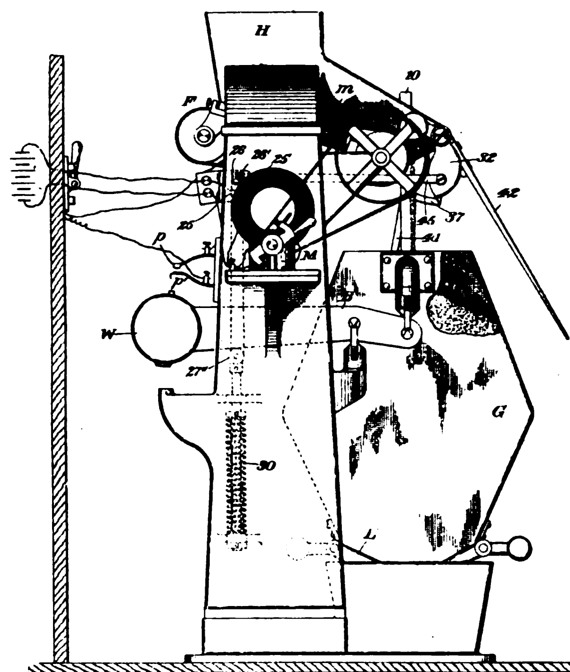


Fig. 27. — Bascule automatique Richards, vers la fin de la pesée.

m' sur 33', comme de figure 29 à figure 31, ferme le clapet 32 du remplisseur, qui, par 45 (fig. 28) rompt en 27 le circuit de M, puis,

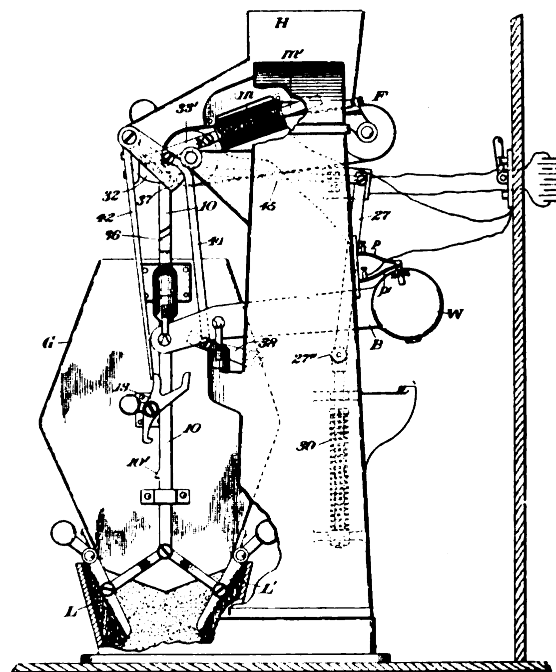


Fig. 28. — Balance automatique Richards. Vidange du bac G.

par 42 et 13, déclenche en 10′ la tringle 10, qui laisse le fond LL′ de G s'ouvrir et le vider.

Après la pesée, L se renferme par ses contrepoids, G remonte, renclenchant avec 10′ le

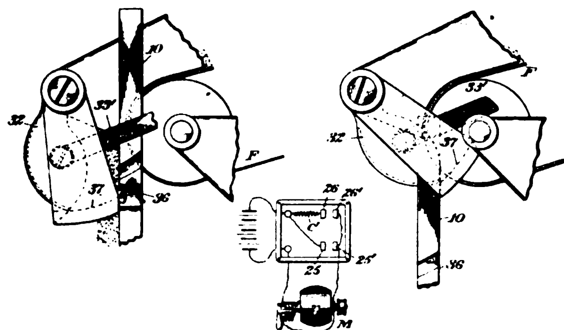


Fig. 29 à 31. — Balance automatique Richards. Détail du fonctionnement de la fermeture 37 et schéma des circuits.

cliquet 13, maintenu par le taquet 38 ramené, par 42, 37, 41, de la position figure 29 à celle figure 25, en même temps que 42 rouvre 32, lequel sera maintenu ouvert par le taquet 36 de 10 jusqu'à la refermeture du courant de *m′* et la nouvelle descente de G.

G. RICHARD.

LA FABRICATION
DU
CARBURE DE CALCIUM
A VERNIER (Genève)

C'est avec un vif intérêt que nous avons visité récemment la nouvelle usine de Vernier pour la fabrication du carbure de calcium.

Cette usine est la première exploitation industrielle de grande importance qu'alimente l'usine électrique de Chèvres ; elle s'est élevée avec une rapidité suprenante. Au mois de décembre dernier, les actionnaires se réunissaient pour la première fois et constituaient la Société genevoise d'électricité et de produits chimiques ; à l'heure où j'écris, les premiers fours ont commencé de fonctionner.

Cette rapide installation est due à l'activité et à l'expérience de MM. les ingénieurs Bovy et Landriset, qui ont bien voulu me fournir de nombreux renseignements sur les conditions de fonctionnement de l'usine ; je saisis cette occasion de leur en exprimer ici toute ma gratitude.

En second lieu, la mise à exécution prodigieusement rapide dont nous venons de parler, doit être aussi attribuée en partie au fait qu'il n'a pas été nécessaire de construire des dynamos spécialement destinées à la nouvelle fabrication, l'usine utilisant le courant alternatif transformé de l'usine de Chèvres et cela à des conditions particulièrement avantageuses.

Par suite d'une convention passée avec la ville de Genève, propriétaire de l'usine de Chèvres, l'usine pour la fabrication du carbure, utilise pendant le jour et une partie de la nuit, les machines nécessaires à l'éclairage de la ville et du canton. Moyennant une redevance annuelle de 36 000 fr par turbine, l'usine de Vernier a la faculté d'utiliser de 1 000 à 1 200 chevaux au minimum, ce qui abaisse le prix du cheval électrique an de 30 à 36 fr.

Mais cette puissance de 1 000 à 1 200 chevaux est un minimum et l'usine a la faculté d'utiliser à certains moments de la journée une puissance de plus de 2 000 chevaux.

Afin de diminuer autant que possible les frais d'exploitation et la main-d'œuvre, les diverses opérations, telles que le broyage, le mélange du charbon et de la chaux, sont effectuées entièrement par procédés mécaniques. Depuis l'instant où le coke est dirigé sous les meuletons jusqu'au moment où il ressort mélangé avec la chaux vive pour descendre dans les fours et en ressortir sous forme de carbure, tout se fait automatiquement avec une main-d'œuvre insignifiante.

La nouvelle fabrique a attaché une grande importance au choix des matières premières, afin d'obtenir un carbure de bonne qualité, susceptible de rendre un dégagement abon-

dant d'acétylène. On sait en effet combien il est avantageux pour le consommateur, particulièrement dans la préparation de l'acétylène destiné à l'éclairage des véhicules, d'avoir un carbure aussi pur que possible donnant sous un faible poids et un petit volume une grande quantité de gaz.

Le charbon employé à cet effet est le coke Barbier et Cie à Saint-Fons, ne renfermant que 5 p. 100 de cendres d'après de nombreuses analyses. Ce coke pris à Saint-Étienne revient à 40 fr la tonne, mais rendu à l'usine de Vernier il doit être compté à 50 fr la tonne.

Quant à la chaux vive, elle provient des roches de Bellegarde, situées à quelques lieues de Vernier. Cette chaux est remarquable par sa pureté et son homogénéité; des analyses nombreuses faites sur divers échantillons, ont donné une moyenne de 99 p. 100 de chaux vive et même 99 1/2 p. 100 dans bien des cas. Le prix de la tonne rendue broyée à l'usine de Vernier est de 22 fr. Les matières premières semblent donc bien appropriées pour donner un carbure de grande pureté.

Enfin il importe de signaler un dernier point; c'est la dimension même des fours; chaque four unité est susceptible d'absorber près de 500 chevaux (6000 ampères — 57 volts); les pertes par rayonnement sont donc diminuées de ce fait et la chaleur bien utilisée. Ces fours sont, à notre connaissance, les plus grands modèles utilisés pour la fabrication du carbure.

Il est difficile de se faire actuellement une idée absolument exacte du prix de revient de la tonne de carbure produite dans la nouvelle usine. Ce n'est qu'une fois l'usine fonctionnant tout à fait normalement, qu'il sera permis de le fixer définitivement. On peut néanmoins s'en rendre compte d'une façon approchée en l'évaluant comme suit :

1000 kg CaO	22 fr
900 kg C	45 »
Courant électrique	40 »
Broyage, mélange, électrodes et main-d'œuvre	50 »
	157 »

Il est intéressant de remarquer que le prix du charbon est relativement élevé. A ce point de vue on a souvent proposé, en vue d'abaisser le prix de revient, l'emploi des poussiers de coke qui sont presque sans valeur. Mais il est à présumer que les poussiers renfermant une forte proportion d'impuretés, donneraient un carbure de moins bonne qualité.

Quant à la production journalière de l'usine, elle sera au début de 6 tonnes, mais elle pourra, par l'adjonction de nouveaux groupes de transformateurs et de fours, être rapidement portée au double ou au triple, les locaux ayant été aménagés en vue de cette éventualité.

Voyons maintenant avec quelques détails, les principales phases de la fabrication.

L'usine de Vernier peut recevoir le courant de deux grands alternateurs de 1000 à 1200 chevaux chacun [1]. Ils sont biphasés et fournissent le courant à 2700 volts et 45 périodes étant, comme nous l'avons dit, plus spécialement destinés à l'éclairage de la ville de Genève.

Deux lignes aériennes biphasées, formées chacune de quatre conducteurs de cuivre dur de 5 mm de diamètre, conduisent le courant à l'usine de Vernier, située sur la hauteur, à 720 m de l'usine de Chèvres. Le tracé de la ligne traverse un plateau élevé; aussi toutes les précautions ont été prises en vue de garantir la ligne et les machines contre les coups de la foudre. Un filet métallique entoure à cet effet toute la ligne; il est en bonne communication avec la terre à chaque poteau et communique en outre directement avec le Rhône à l'usine même de Chèvres.

A son arrivée à l'usine de Vernier, le courant, toujours à haute tension, traverse des rhéostats dont la chaleur dégagée est utilisée, comme on le verra plus loin, pour le séchage complet du coke avant son mélange avec la chaux vive.

[1] Ces alternateurs ont été décrits précédemment, dans *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 385, 30 mai 1896.

L'interposition de ces rhéostats présente en outre l'avantage d'empêcher, dans une certaine mesure, que le contre-coup des courts-circuits qui pourraient se produire dans les fours, ne se fasse sentir sur les machines de l'usine de Chèvres, évitant ainsi de les détériorer.

La perte de tension dans la ligne y compris les rhéostats dont nous venons de parler atteint à pleine charge 400 volts.

Au sortir des rhéostats le courant pénètre dans huit groupes de transformateurs de 150 kilowatts chaque.

Chacun de ces groupes est en réalité formé de deux transformateurs de 75 kilowatts montés sur le même bâti et couplés en parallèle, ils ont été construits à Genève par la Compagnie de l'Industrie Électrique.

Ces transformateurs abaissent la tension de 2 300 volts à 57 volts et le courant transformé est alors dirigé dans la salle des fours qui est susceptible de recevoir 8 fours de 500 chevaux chaque lorsque l'usine aura pris son entier développement.

Ces fours sont placés sur wagonnets, ce qui les rend facilement transportables d'un point à l'autre de la salle.

Pendant le fonctionnement ces fours sont placés au-dessus des fosses ménagées dans le béton qui forme le sol même de la salle.

Grâce à ce dispositif, si le fond d'un four venait à céder, comme cela est arrivé déjà, dans d'autres usines, la matière en fusion tomberait d'elle-même à l'intérieur de ces fosses et ne risquerait pas de se répandre et de se projeter dans la salle en brûlant le personnel.

Quant au four lui-même, il se compose d'un vaste creuset cylindrique de 1,50 m de diamètre et 0,80 m de haut. Ce creuset en charbon aggloméré et recuit sous pression est garni extérieurement de tôle de fer. Quatre trous de coulée sont ménagés à diverses hauteurs permettant ainsi de recueillir de la matière en fusion dans les diverses parties du four et de se rendre compte de la façon dont les réactions s'y produisent.

A la partie supérieure du four est placée une hausse cylindrique en tôle par l'intermédiaire de laquelle le mélange de charbon et de chaux est dirigé dans le four.

L'électrode qui plonge dans le creuset est formée de la juxtaposition de six blocs de charbon aggloméré de 1,50 m de long, 13 cm et 23 cm. Le poids des 6 charbons s'élève à 390 kg et la section totale est de 1 794 cm^2,

Ces charbons ont été fournis par une fabrique allemande et il importe de signaler aux constructeurs français qui sont certainement aussi bien outillés et à même de fournir mieux que qui que ce soit des pièces de charbon de grande dimension, l'importance que prendra dans un avenir très prochain la bonne fabrication des fours et des électrodes de grandes dimensions.

L'énorme intensité du courant nécessite naturellement un contact parfait entre les électrodes de charbon et les pièces métalliques qui y amènent le courant. A cet effet MM. Bovy et Landriset ont imaginé une pince fort ingénieuse disposée de façon que chaque face du charbon puisse être pressée indépendamment par une pièce métallique. et cela pour les six charbons qui constituent une même électrode.

Notons enfin un système d'écrans mobiles en tôle de fer que l'on peut disposer commodément et destinés à protéger le personnel contre le rayonnement des fours tout en permettant une surveillance facile.

La partie mécanique de l'installation n'est pas moins intéressante que la partie électrique.

Étant donné le fait que l'usine ne doit pas fonctionner continuellement avec un débit absolument régulier et à pleine charge, il était de première importance de réduire autant que possible la main-d'œuvre dans cette exploitation.

Toute la partie mécanique de l'usine nécessite une puissance de 20 chevaux fournie par un moteur biphasé à 57 volts qu'alimente l'un des transformateurs dont nous avons parlé.

Ce moteur actionne d'abord un meuleton

sous lequel on verse le coke. Au sortir du broyage le charbon est saisi par un élévateur formé d'une courroie garnie de godets. Cet élévateur l'envoie dans un tamis cylindrique en rotation.

Le charbon qui a traversé le tamis s'écoule dans une vis transporteur, tandis que les particules trop grossières que garde le tamis retournent d'elles-mêmes au meuleton.

La vis transporteur conduit alors le charbon tamisé au séchage. Cette opération s'effectue à l'intérieur d'un vaste cylindre incliné en tôle garni intérieurement de nervures longitudinales. Le charbon y descend lentement tombant de nervure en nervure par le fait de la rotation du cylindre tandis qu'un courant d'air chaud et sec venant de la salle où se trouvent les rhéostats vient à sa rencontre et effectue le séchage.

En desséchant ainsi complètement le charbon avant de le mélanger à la chaux vive on évite, comme on sait, la formation de chaux éteinte laquelle exige un travail de décomposition plus grand, d'où diminution de rendement.

Après desséchement complet le charbon est versé automatiquement dans une première chambre en maçonnerie d'où il est repris pour être mélangé à la chaux.

Le mélange s'effectue de la façon suivante : la chaux vive, que l'usine reçoit toute pulvérisée, est conservée dans trois chambres en maçonnerie.

Un premier élévateur (courroie à godets) la soutire et vient la déverser dans une vis transporteur.

En même temps un second élévateur, actionné par la même transmission que le premier et dont le mouvement peut être par conséquent rendu solidaire, fait passer le charbon desséché de la chambre où il se trouve dans la même vis transporteur. Le mélange des substances s'effectue donc par le mouvement même de la vis. Afin d'assurer toujours la proportion exacte du mélange des deux substances, la vitesse relative des deux élévateurs peut être réglée avec soin.

En outre, pour rendre le mélange toujours plus intime, on le fait passer successivement de la vis dans une deuxième chambre, puis de cette deuxième dans une troisième et enfin de la troisième à une nouvelle vis transporteur qui conduit aux fours en achevant le brassage.

Toutes ces opérations sont absolument automatiques et, une fois le réglage fait, ne nécessitent aucune main-d'œuvre ; elles suppriment en particulier tout pesage des matières premières.

Enfin, comme contrôle, une rapide analyse permet de se rendre compte si le mélange qui parvient aux fours est bien intime et dans la proportion convenable.

Disons en terminant que toutes les mesures de précaution ont été prises en vue de prévenir les accidents ou les explosions toujours à craindre dans les installations renfermant de grandes quantités de carbure de calcium.

Sous ce rapport, la mesure la plus efficace est certainement une ventilation bien conditionnée empêchant les gaz de s'accumuler dans certaines parties de l'édifice. Dans ce but, le toit qui recouvre l'usine ne présente aucune anfractuosité, il est absolument plat ; il est en outre séparé de la maçonnerie extérieure par un espace ouvert de 40 cm. Dans ces conditions, une accumulation de gaz acétylène ou oxyde de carbone est absolument impossible.

Une autre précaution essentielle a été d'éviter dans la construction de l'usine toute matière combustible.

Le bâtiment est entièrement construit en pierre, fer et béton ; les chances d'incendie sont donc réduites à leur minimum ; la provision de charbon seule serait susceptible d'alimenter le feu. C'est là, comme on le sait, un point capital dans un édifice qui renferme une grande quantité de carbure et qui, de ce fait, ne peut être éteint en cas d'incendie au moyen de l'eau.

Ch. Eug. Guye,
Professeur agrégé à l'École Polytechnique
de Zurich.

MESURE DES INTENSITÉS

MESURE DES FAIBLES INTENSITÉS

Les intensités inférieures à 0,1 ampère se mesurent directement au moyen des galvanomètres sensibles, shuntés ou non. Au delà de cette valeur, les shunts ordinaires de ces instruments sont susceptibles de s'échauffer et ils ont, en général, un pouvoir multiplicateur trop faible; on emploie alors des résistance spéciales, de section appropriée, comme nous le verrons plus loin.

Avec les galvanomètres à miroir et avec tous ceux à déviations proportionnelles, il suffit de connaître l'intensité correspondant à une division pour trouver l'intensité mesurée; en appelant A cette valeur pour $d = 1$,

$$I = Ad.$$

Le coefficient A est l'inverse de J calculé précédemment (*L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 561); la mesure de A se fait par la méthode indiquée à ce sujet, elle est extrêmement simple; il faut employer une pile de force électromotrice bien connue, de faible résistance intérieure et capable de fournir, sans polarisation appréciable, un courant d'environ 0,0001 à 0,001 ampère; l'étalon Daniell du Post office est très convenable dans ce but; on peut aussi mesurer la force électromotrice d'un accumulateur, par les méthodes indiquées précédemment, et se servir ensuite de celui-ci comme étalon, la précision obtenue ainsi peut être plus grande.

L'exactitude du résultat dépend évidemment de la grandeur de la déviation observée.

Quand le galvanomètre n'est pas proportionnel, il faut déterminer l'intensité correspondant à diverses déviations, en employant la même disposition que ci-dessus, puis on trace une courbe de

$$I = f(d),$$

sur laquelle on peut déterminer, par interpolation, la valeur de l'intensité pour une déviation quelconque.

Il est bien entendu que, s'il y a un shunt, l'intensité qui traverse le galvanomètre, doit être multipliée par le pouvoir multiplicateur du shunt.

Lorsqu'on dispose d'un bon galvanomètre différentiel, on peut employer une méthode de zéro. Le courant inconnu traverse un des circuits, pendant que l'autre est parcouru par un courant fourni par une pile constante, de force électromotrice E, dans une résistance R et, s'il est nécessaire, avec un shunt S; cette disposition est encore la même que pour la constante des galvanomètres. Le courant inconnu I a pour valeur, au moment où le galvanomètre reste bien au zéro,

$$I = \frac{E}{R + \frac{gS}{g+S}} \frac{S}{g+S};$$

la résistance intérieure de la pile étant considérée comme négligeable.

Comme toutes les méthodes de zéro, celle-ci peut donner des résultats très exacts, si le galvanomètre est bien différentiel, et si E est bien connu.

Ces deux méthodes s'appliquent à tous les courants inférieurs à 0,1 ampère, si faibles qu'ils soient, pourvu que le galvanomètre employé soit assez sensible.

Avec les galvanomètres Thomson, on peut ainsi mesurer des intensités de 0,01 de microampère à 1 p. 100 près. Les galvanomètres à cadre mobile permettent d'obtenir assez exactement des courants de l'ordre du microampère.

MÉTHODES PRATIQUES

Pour les courants supérieurs à 0,1 ampère, on peut prendre des barres métalliques, dont on règle la section et la longueur, de façon à obtenir, avec un échauffement négligeable, une déviation convenable au galvanomètre; on mesure ensuite la résistance ainsi formée. Il est préférable d'employer des résistances étalonnées, construites spécialement pour l'in-

tensité à mesurer, dont la valeur est un sous-multiple de l'ohm ; de cette façon il suffit de mesurer la différence de potentiel aux bornes de la résistance pour obtenir l'intensité par un calcul très simple.

Cette méthode comporte deux opérations distinctes, dont l'une au moins peut être faite une fois pour toutes. D'abord la mesure *exacte* d'une résistance assez faible et la détermination de l'intensité maximum qu'elle peut supporter sans varier sensiblement ; ensuite la mesure d'une différence de potentiel.

Cette dernière mesure peut s'effectuer par l'une quelconque des méthodes exposées précédemment par opposition, au condensateur ou par déviation.

Les différences de potentiel à mesurer dans ce cas, sont généralement inférieures à 1 volt ; on les réduit autant que possible, dans le but de diminuer l'énergie dépensée ; celle-ci n'est généralement pas dispendieuse, sauf le cas de mesures continues, mais il est plus facile de maintenir la température constante quand la dépense est faible. Ainsi la mesure de 1000 ampères avec une résistance de 0,001 ohm, dépense 1 kilowatt ; pour rester dans des limites de température acceptables, il faut employer un courant d'eau assez fort.

Avec une résistance bien étalonnée et un étalon de force électromotrice bien connu, la méthode d'opposition fournit des résultats aussi bons que l'emploi direct des étalons d'intensité, quand il s'agit de faibles valeurs ; cette méthode peut être considérée comme la plus parfaite pour les grandes intensités, car on n'a pas à craindre l'influence électromagnétique des conducteurs qui amènent le courant.

La disposition à employer est celle qui s'applique aux forces électromotrices inférieures à celle de l'étalon ; le mode opératoire est le même. Une première mesure est faite avec le montage de la figure 1 (*L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 205) ; on détermine exactement la force électromotrice e de la pile auxiliaire qui fournit le courant, puis on remplace l'étalon E, par la dérivation prise sur la résistance R_1 (fig. 1) ; on rétablit l'équilibre en faisant varier A et B et en laissant leur somme constante. En employant en e des accumulateurs, un ou deux suffisent, on obtient un courant très constant ; l'erreur sur l'intensité peut être inférieure à 0,2 p. 100 quand E et R_1 sont exactement connus.

Quand on dispose d'un condensateur, on peut comparer la force électromotrice étalon E à la différence de potentiel RI ; la précision du résultat dépend de la grandeur des élongations observées.

La méthode réellement pratique, consiste à placer en dérivation sur la résistance R_1, un galvanomètre étalonné en volts par le moyen déjà indiqué.

La condition essentielle à réaliser, c'est que la résistance du circuit galvanométrique soit assez grande par rapport à R_1, pour que l'on puisse négliger le courant dérivé. La précision relative de cette méthode étant environ 0,5 p. 100, il faut avoir au moins

$$R + \frac{gS}{g+S} > 200\, R_1.$$

Partant de l'étalonnage fait pour 1 volt égale 100 divisions, il faut souvent augmenter cette sensibilité et faire, par exemple, 1 volt égale 1000 ou 10 000 divisions.

Le calcul des résistances R et S doit être conduit comme précédemment, en agissant d'abord sur S, de façon à conserver à R la plus grande valeur possible. Avec les galvanomètres à cadre mobile, quand l'amortissement n'est pas assuré par une armature métallique, il faut donner à S une valeur assez faible pour garder un amortissement suffisant ; dans ce cas, si la sensibilité du galvanomètre est assez faible, il faut donner immédiatement à S′ la valeur limite et calculer R en partant de celle-ci.

Pour fixer les idées, reprenons l'exemple donné en parlant des forces électromotrices, et supposons que le galvanomètre étalonné doit servir à mesurer 100 ampères, avec une résistance R_1 égale à un millième d'ohm. La différence de potentiel observée sera 0,1 volt ; pour obtenir une déviation convenable, il

faudra avoir 1000 divisions par volt, soit $n = 1000$. Si le galvanomètre devient apériodique lorsqu'il est fermé sur une résistance de 200 ohms, nous poserons immédiatement $S' = 200$ et nous aurons :

$$R' = \frac{200}{220 + 200}\left[\left(\frac{220 + 150}{150} 9980 + 220\right) \times \frac{100}{1000} - 220\right] = 1077.$$

Dans ces conditions, la résistance totale du circuit galvanométrique est

$$1077 + 220 \frac{200}{220 + 200} = 1181,$$

la dérivation est inférieure à 10^{-6} du courant total, c'est-à-dire absolument négligeable.

Le choix de la résistance R_1 a une importance capitale, la précision de la mesure en dépend. Il existe aujourd'hui beaucoup de résistances étalonnées qui sont des fractions de l'ohm construites spécialement pour les grandes intensités (*L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 361). Lorqu'on dispose de celles-ci, la mesure est beaucoup simplifiée, néanmoins, il est bon de s'assurer que la résistance est exactement celle indiquée, et, surtout, que le passage du courant ne cause pas un échauffement nuisible. La résistance est mesurée exactement, au pont de Thomson par exemple, avant et après le passage du courant maximum que la résistance doit supporter; la seconde mesure doit être faite très rapidement, aussitôt après la rupture du circuit, elle indique, à peu près, l'échauffement subi par la résistance. Jusqu'à 100 ampères, on peut se contenter du refroidissement par l'air, au delà l'emploi d'une circulation d'eau assure une température plus uniforme et plus constante.

A défaut de résistances étalonnées, on peut prendre des barres de maillechort, de laiton, de ferro-nickel ou de manganin, sur lesquelles on détermine, par comparaison, la résistance convenable. On doit, autant que possible, prendre la dérivation en deux points différents de ceux de l'arrivée du courant.

Une autre disposition, assez commode pour les intensités moyennes, consiste à prendre des fils de maillechort ou de ferro-nickel de 1 à 4 mm de diamètre et à les couper de longueur telle que leurs extrémités recourbées plongeant dans des godets à mercure, ils aient chacun 1, 0,1 ou 0,01 ohm. Selon l'intensité à mesurer, on prend un nombre m de ces barres plus ou moins grand. On peut admettre qu'un fil de maillechort de 1 mm, supporte, sans variation gênante, 0,5 ampère ; le ferro-nickel a un coefficient plus élevé que le maillechort, mais il résiste mieux au mercure. Pour bien fixer la valeur de la résistance ainsi faite, il est bon de vernir le fil jusqu'au point où le mercure doit venir au contact; plus le fil est long et moins l'erreur des bouts est appréciable.

Pour les grandes intensités, le moyen le plus simple, à défaut de résistances étalonnées spéciales, c'est de prendre un tube de laiton, ou de maillechort, sur lequel on fixe des contacts et que l'on fait parcourir par un courant d'eau; un tube de laiton de 18 mm de diamètre intérieur et 20 mm extérieur, peut supporter, si l'écoulement d'eau est suffisant, plus de 1000 ampères, sans varier d'un degré. On ne trouve guère, dans le commerce, que des tubes de laiton, il faut déterminer leur valeur à différentes températures, car le coefficient du laiton varie avec chaque échantillon; il est en moyenne de 0,15 p. 100 par degré.

MÉTHODE ÉLECTROLYTIQUE

A défaut d'autre étalon, on peut graduer les galvanomètres au moyen des dépôts électrochimiques. Ce procédé est facilement applicable aux courants dont l'intensité est de l'ordre de l'ampère; au-dessous, il faut un temps trop long pour obtenir un dépôt suffisant; au-dessus, il faut employer plusieurs voltamètres en dérivation, le procédé devient très dispendieux.

Un coulomb dépose 0,001118 g d'argent ou 0,0003287 g de cuivre. Il est préférable de

faire l'électrolyse d'un sel d'argent qui donne, pour une même quantité, un dépôt dont le poids est trois fois plus grand ; mais le dépôt d'argent a, en outre du prix élevé des substances employées, l'inconvénient d'être assez peu adhérent, des pertes peuvent se produire pendant les lavages, ce qui rend l'opération assez délicate. On a plus souvent recours, dans la pratique, aux dépôts de cuivre, qui donnent des résultats moins exacts, mais avec plus de facilités.

La solution à électrolyser doit contenir environ 15 p. 100 en poids de sulfate de cuivre pur du commerce ; on ne doit jamais lui laisser atteindre, par appauvrissement ou par évaporation, une densité inférieure à 1,05 ou supérieure à 1,15. On ajoute à la solution environ 5 p. 100 d'acide sulfurique, ce qui diminue l'attaque des électrodes par le bain.

L'anode et la cathode sont formées de feuilles de cuivre électrolytique, ayant environ 0,5 mm d'épaisseur et une surface calculée à raison de 50 à 100 cm^2 par ampère. Les bords et les angles de ces feuilles sont arrondis pour empêcher la formation, en ces points, de dépôts pulvérulents. Les électrodes, suspendues verticalement dans le bain, sont tenues par des pinces qui les relient au circuit ; ces pinces sont, bien entendu, placées en dehors du liquide et il ne faut pas tenir compte de la surface des plaques qui émerge du bain ; cette surface doit, d'ailleurs, être aussi restreinte que possible. La distance des deux électrodes dans le bain ne doit pas être inférieure à 1 cm ; il n'y a pas intérêt à la faire trop grande, ce qui augmente la résistance du bain ; entre 1 et 5 cm on obtient de bons résultats.

Les électrodes, bien dressées et polies au tripoli, sont préparées de la manière suivante : décapées d'abord dans l'acide azotique étendu d'eau, puis dans une solution d'acide sulfurique, lavées à grande eau, passées à l'alcool, épongées avec un buvard et séchées dans l'air chaud. Dès le premier décapage, il ne faut plus toucher la plaque avec les doigts, pour éviter des taches grasses qui empêchent l'adhérence du dépôt.

Après refroidissement, la cathode est pesée très soigneusement et les deux électrodes sont mises dans le bain.

Le courant employé doit être très constant, c'est pourquoi il est bon de le prendre sur des accumulateurs ; une assez grande résistance doit être intercalée dans le circuit, pour diminuer les variations d'intensité dues au liquide électrolysé ; il faut en outre ajouter un rhéostat continu, destiné à maintenir la constance du courant malgré les petites variations du circuit. Ce dernier réglage est fait en suivant les indications du galvanomètre à étalonner, ou d'un galvanomètre témoin.

La durée de l'opération dépend du courant à mesurer, car il faut obtenir un dépôt d'un poids suffisant pour que les erreurs de pesée soient négligeables ; il ne faut pas oublier que l'on mesure une *différence* de poids et que, par conséquent, le poids du dépôt ne doit pas être trop petit par rapport à celui de la cathode.

Avec les dimensions et la densité de courant indiquées ci-dessus, la cathode pèse environ 40 gr par ampère ; une durée de une heure assure un dépôt de 1 gr environ par ampère, ce qui peut être considéré comme un bon rapport entre les deux poids. Les pesées doivent être faites au milligramme près.

Le temps est mesuré au moyen d'un bon chronomètre : on note le moment d'établissement du courant et celui de la rupture ; ces observations doivent être faites à une seconde près.

L'intensité du courant, observée au début, doit être maintenue constante pendant toute la durée de l'opération. Si cette condition ne peut pas être exactement remplie, il faut noter les indications du galvanomètre à des intervalles assez rapprochés et faire la moyenne.

Aussitôt le courant rompu, la cathode est sortie du bain, lavée dans l'eau distillée à

plusieurs reprises, puis à grande eau, finalement plongée dans l'alcool, séchée au buvard et dans l'air chaud. Ce n'est qu'après refroidissement qu'on procède à la pesée.

La perte de poids de l'anode est toujours plus élevée que l'augmentation de la cathode. il n'y a pas lieu d'en tenir compte.

Si P et P_1 sont les poids, avant et après l'opération, T la durée de celle-ci, l'intensité moyenne du courant est :

$$I = \frac{P_1 - P}{0,0003287\, T}.$$

L'exactitude de la mesure dépasse rarement 0,5 p. 100.

H. ARMAGNAT.

REVUE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Commutateur Emmett (1896).

Dans la position ouverte (fig. 1) le courant

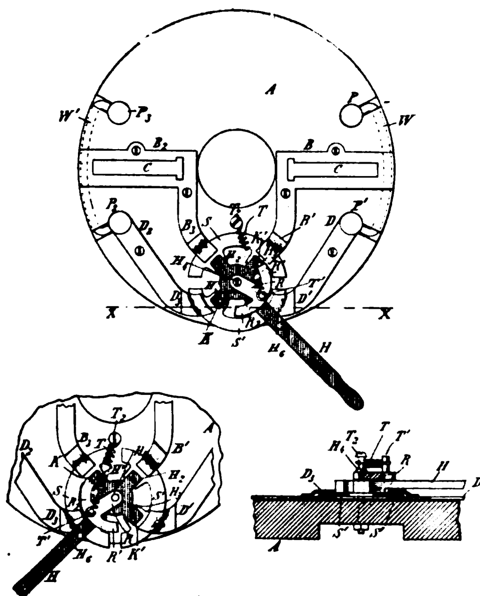


Fig. 1 à 3. — Commutateur Emmet. Plans, ouvert et fermé. X, X. Coupe.

passe de la borne P_1 à la borne P_2 par (D_2, D_3, S', D', D) ; dans la position fermée (fig. 2) le courant passe à la lampe reliée à C C par (P_3, D_2, D_3, S, B_3, B_2, — lampe — B, B', S', D', D, P'). Quand on tourne H pour repasser de cette position à la première, ou *vice versa*, au moment de la rupture des contacts, le ressort T, dépassant son point mort, attire brusquement le marteau RR', pivoté autour de H et qui, revenant heurter les taquets K ou K' de H, le repousse vivement dans sa position extrême, de manière à éviter les étincelles. G. R.

Accumulateur Clerc et Pingault (1896).

L'élément se compose (fig. 1 et 3) de deux plaques positives *a*, enveloppées de celluloïd *d*s et de trois plaques négatives *b*. Les enveloppes *dd* sont percées de trous plus petit,

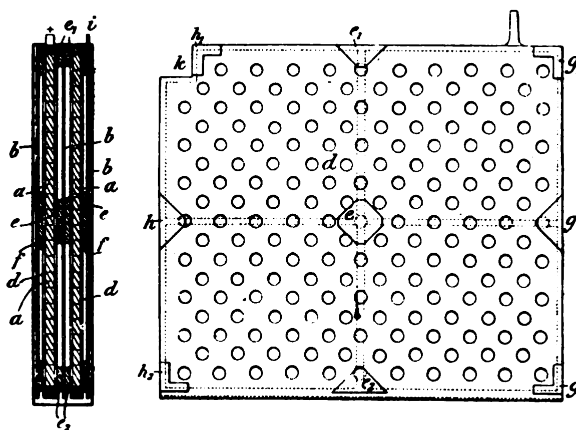


Fig. 1 et 2. — Accumulateur Clerc et Pingault.

que les pastilles de matière active, qu'elles empêchent ainsi de tomber au contact des plaques négatives, séparées des positives par des tasseaux (e, e_1, e_2) (g, g_1, g_2) (h, h_1, h_2). Le tout est enfermé dans une boite de caoutchouc *i*, et les prises de courant se font aux angles écornés *k*. G. R.

Machine Madden à faire les grils d'accumulateurs (1896).

La plaque est (fig. 1 à 3) immobilisée dans un

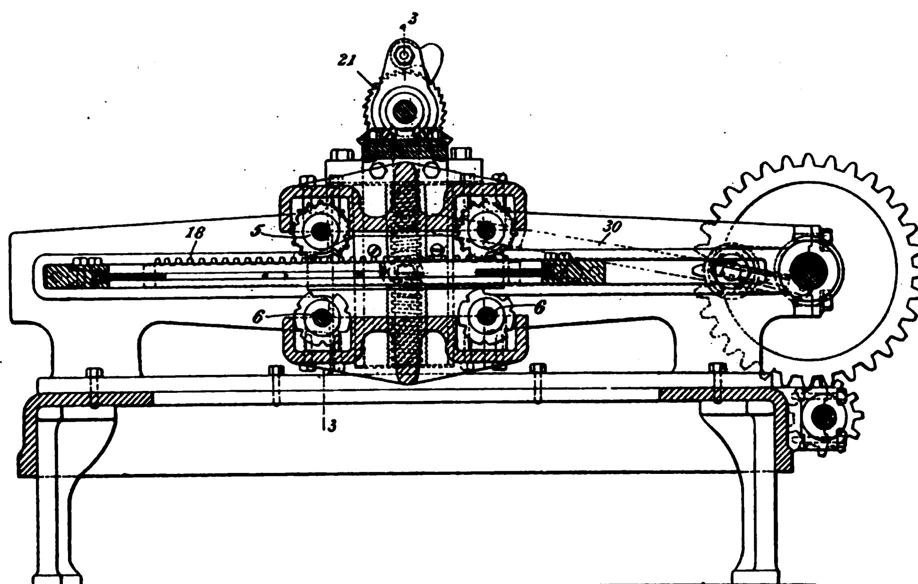


Fig. 1. — Machine Madden à faire les grils d'accumulateurs. Coupe 2-2.

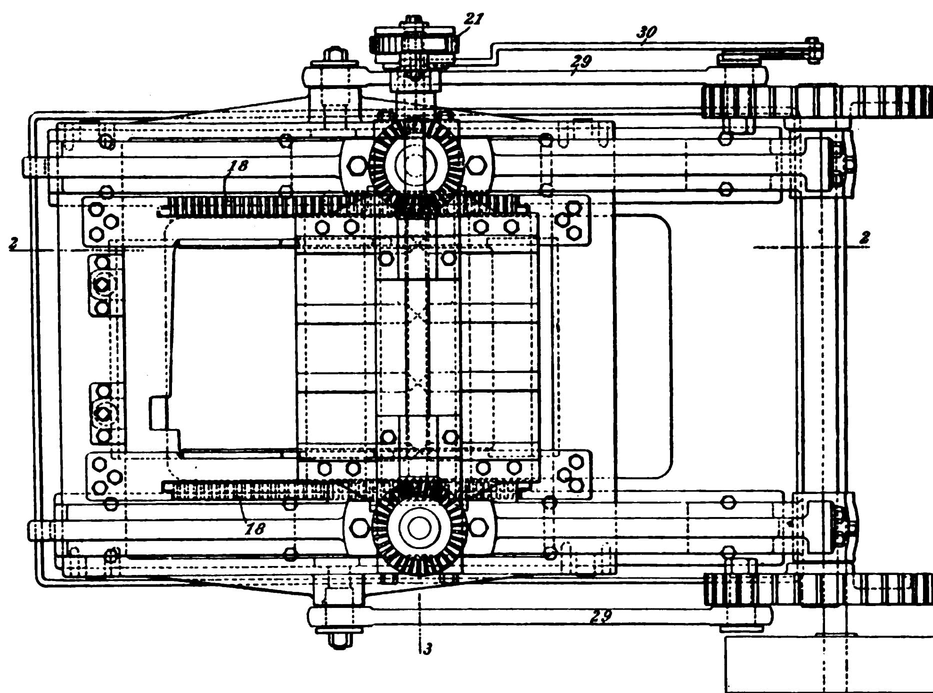


Fig. 2. — Machine Madden. Plan.

cadre 1, qui reçoit, des bielles 29, 29, un mouvement de va-et-vient entre les découpeurs circulaires 6 et 7, animés d'un mouvement de rotation alternatif par les crémaillères 18 de 1, en même temps que d'un mouvement d'avance ou de pénétration dans 1, par la bielle

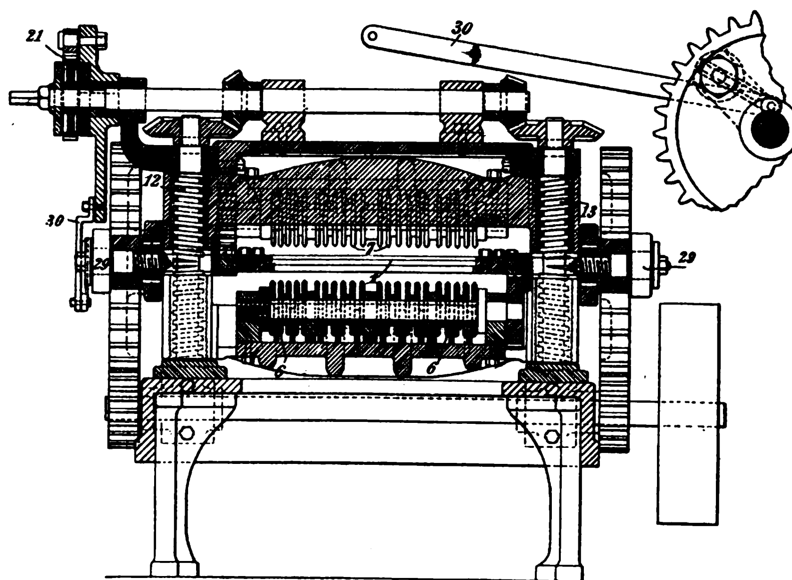


Fig. 3. — Machine Madden. Coupe 3-3.

30, le rochet 21 et les vis 12, 13. On peut ainsi produire les gaufrages les plus variés (fig. 4) et

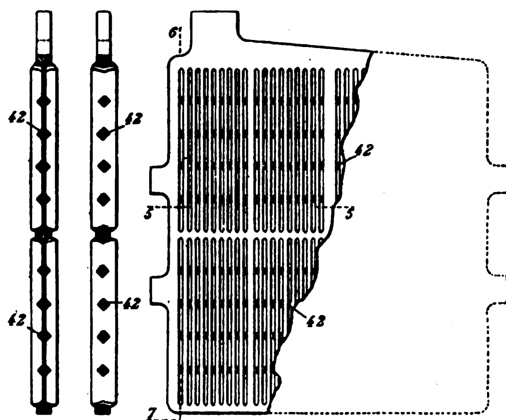


Fig. 4 et 5. — Machine Madden. Type de gril.

ménager entre les barres des tasseaux 42 (fig. 3) obtenus par les encoches des découpures.

G. R.

Galvanomètres et Ampèremètres Rowland (1896).

L'ampèremètre représenté par les figures 1 et 3 consiste en une bobine d'Arsonval E, suspendue, entre les pôles N et S du cadre à un fil *e*, porteur d'un miroir M, rendu apériodique par les ailettes en mica *m*, et que le courant à mesurer traverse suivant *h e* E *h'*. Une lunette B, dont le support C peut se replier sur la muraille qui porte l'appareil, permet de lire les déplacements de E, considérablement amplifiés sur l'échelle ajustable D.

Pour pouvoir ainsi mesurer des intensités très différentes, on fait passer le courant de X à Y par E (fig. 2) partie au travers du rhéostat W, partie par W_1, O, R, E, O', O_2, avec une aiguille I retranchant de W' la même résistance *r* qu'elle introduit en W, de sorte que la résistance S du shunt W'OR... est toujours égale à $S = \frac{r}{R+r-r} = \frac{r}{R}$. Si donc on fait varier *r* et R en progression géométrique, il en sera de même de I. Par exemple, pour R = 1. 2. 4. 8. 16... et $r = 1.\ \frac{1}{32}.\ \frac{1}{1024}.\ \frac{1}{32768}$... on aura S = 1. 2. 4. 8. 16. 32. 128. 256. 512. 1 024. 2 048. 4 096. 8 192. 16 384. 32 768. 65 536. 131 072. 262 144. 524 288 soit 22 valeurs pour 5 de R et 4 de *r*. Pour la mesure des gros courants, il suffit de leur adapter quatre valeurs de *r*, les autres valeurs de *r* et R étant réservées aux faibles intensités.

En pratique, le courant entre par une

tige K (fig. 6) à bras I′, portant sur les touches C du rhéostat W (fig. 2) et un bras I

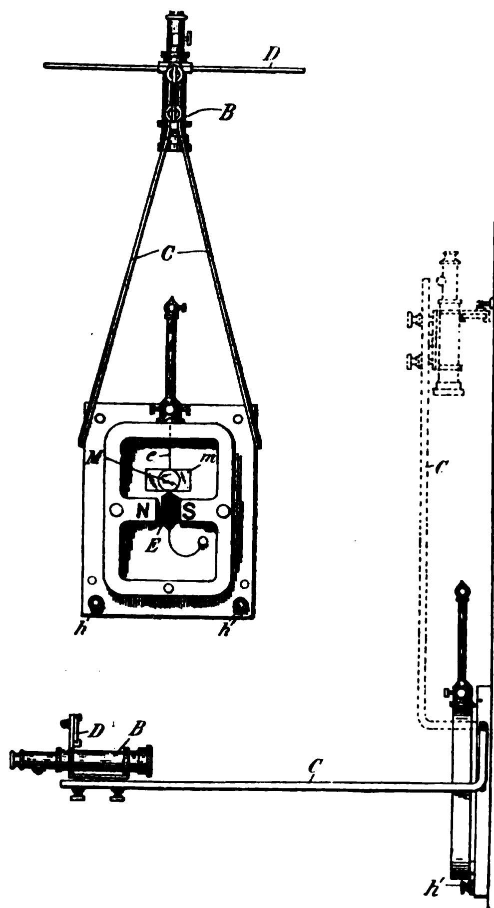


Fig. 1. — Ampèremètre Rowland.

isolé de K, faisant contact avec C et les touches U de W′ constituant ainsi la dérivation S.

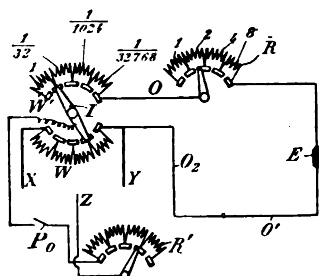


Fig. 2.

Pour la mesure des potentiels, on ajoute la résistance R′ (fig. 3) et on ferme P_0, ce qui permet de mesurer le potentiel entre Z et Y.

L'appareil représenté par les figures 7 à 10 est enfermé entre deux cadres en fer *h*, *h*, montés sur ébonite ; il comporte une bobine mobile E_1 et deux paires de bobines fixes : L, à gros fils pour des grandes intensités, et L′, à fils fins, pour les petites. L est constitué par un ruban de cuivre enroulé sur une

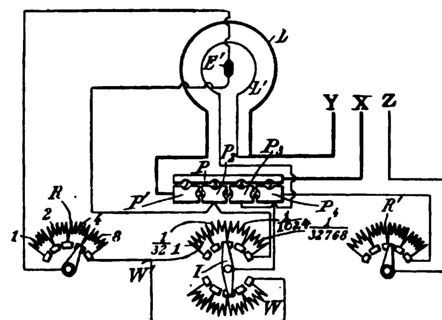


Fig. 3.

âme l_2, maintenu par un bouton d'ébonite *l* et bien exposé à l'air pour ne pas s'échauffer La bobine L′, montée sur l'anneau d'ébonite *l′* entoure complètement la bobine mobile E quand l'appareil est fermé. Le fil e_1 qui suspend E, peut se régler en $f_1 f_2$; le miroir M et

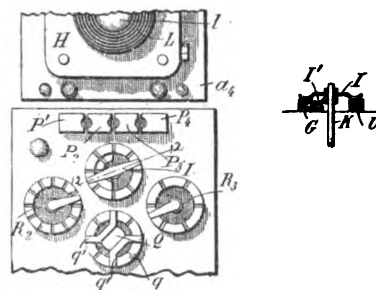


Fig. 4, 5 et 6.

ses ailettes *m* sont enfermés dans une boîte V, ce qui aide à en amortir rapidement les oscillations.

Les circuits sont disposés comme l'indique les figures 2 et 3 avec un commutateur Q permettant de renverser au besoin le sens des courants.

Le courant entrant par X, on insère, pour les gros courants, les fiches 7 et 2, et, pour les petits, les fiches 7 et 4, de sorte que le courant passe dans le premier cas par 7, P_4, I′

(fig. 4) P_2, 2, L et Y, avec dérivation par W, R, E', comme dans l'appareil précédent.

Pour mesurer le potentiel entre Y et Z, on introduit comme précédemment la résistance R'.

Pour mesurer les watts, on insère les fiches 1 et 2 ou 4 et 5. Le courant passe alors par L ou L' avec dérivation par Z R, E_1, comme dans un électrodynamomètre.

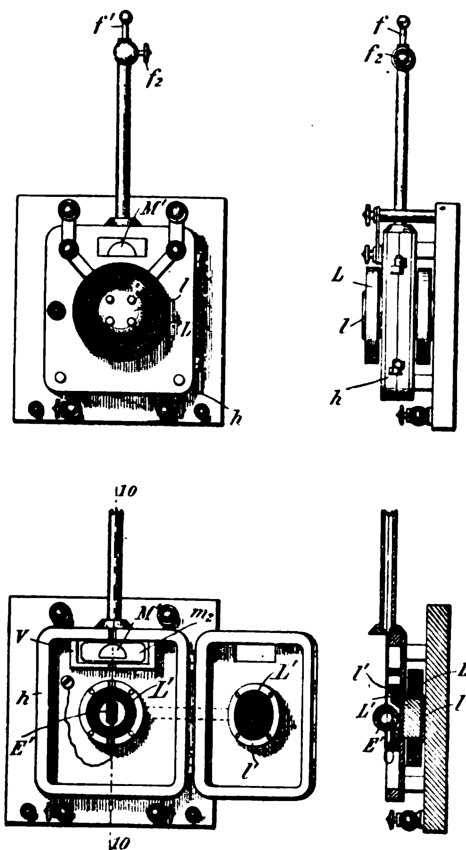


Fig. 7 à 10.

Avec les courants alternatifs, qui se divisent non suivant la résistance R, mais suivant l'impédance $R = \sqrt{1+\frac{p_2 h_2}{R_2}}$ du circuit de self-induction L et d'angle de phase p, on simplifie les mesures en faisant $\frac{R}{L}$ constant, ce qui permet de faire fonctionner les dérivations primitives comme avec des courants continus.

G. R.

Avertisseur statique de pertes à la terre.

Cet appareil que vient de construire la Stanley Electric Manufacturing C°, de Pittsfiel est une application du principe de l'électromètre à quadrants de Lord Kelvin. La disposition en est représentée en figure 1. Les quatre quadrants reliés diagonalement deux par deux sont fixes, seule l'aiguille en aluminium représentée en pointillé est mobile sur des chapes en agate; son mouvement entraîne un index qui se déplace sur une

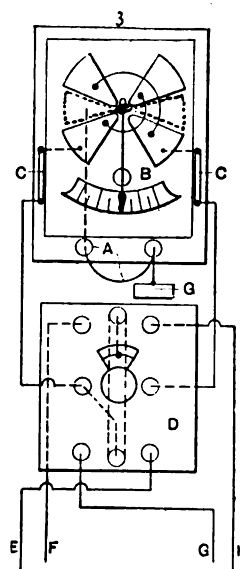


Fig. 1. — Avertisseur statique de perte à la terre.

échelle graduée. L'imobilisateur figuré en B sert à fixer l'aiguille au repos dès qu'on ne se sert plus de l'appareil.

Les connexions avec les fils de ligne E et F, ou G et H sont établies par l'intermédiaire du commutateur D que l'on déplace soit à gauche, soit à droite, selon la ligne que l'on veut éprouver. Les deux fils de ligne sont reliés aux quadrants fixés par deux coupe-circuits C, C; le fil venant de la plaque de terre G est relié à l'aiguille. De cette façon, on conçoit que lorsque un circuit s'établit entre la terre et un point quelconque d'un des fils de ligne, les quadrants ayant des charges statiques égales et en opposition l'aiguille vienne alors se placer suivant la

résultante des deux forces et indique par suite, par la position de son index, la grandeur du défaut sur la ligne éprouvée ainsi que le fil sur lequel il existe. L. D.

Sur le calcul de la section la plus économique des conducteurs;

Par Remo CATANI [1].

Les conditions imposées par un projet ne permettent pas toujours d'appliquer la loi de lord Kelvin sur la densité économique du courant. M. Bochet a indiqué [2] la méthode de calcul des conducteurs dans plusieurs cas particuliers. M. Catani expose aujourd'hui une méthode générale d'application simple.

Le prix d'un conducteur de longueur l cm et de diamètre d cm, est

$$S = Kld^2.$$

On doit donc rendre cette valeur minima, c'est-à-dire, obtenir

$$\Sigma ld^2 = \text{minimum}, \quad (1)$$

ou faire,

$$d\Sigma ld^2 = 0, \quad (1)$$

tout en satisfaisant aux conditions imposées.

L'équation (1) et l'équation ordinaire de la perte de charge :

$$V = \alpha \frac{li}{d^2}, \quad (2)$$

permettent de résoudre un problème quelconque de ce genre. Voici quelques-uns des exemples donnés par l'auteur.

1° *Aux extrémités d'une ligne de longueur totale* $l_1 + l_2 = L$, *on doit avoir des tensions respectives* V_1 *et* V_2. *La ligne est alimentée au potentiel* V; *déterminer le point d'alimentation* V *de façon que la dépense de cuivre soit minima.*

L'équation (2) donne :

$$\left.\begin{aligned} V - V_1 &= \alpha \frac{l_1 i_1}{d_1^2}, \\ V - V_2 &= \alpha \frac{l_2 i_2}{d_2^2}, \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

tandis que l'équation (1) donne :

$$l_1 d_1^2 + l_2 d_2^2 = \text{minimum}.$$

En substituant dans cette dernière expression les valeurs de d_1^2 et de d_2^2, tirées de (3), on a ;

$$\alpha \frac{l_1^2 i_1}{V - V_1} + \alpha \frac{l_2^2 i_2}{V - V_2} = \text{minimum}.$$

On en tire :

$$\frac{i_1 l_1 dl_1}{V - V_1} + \frac{i_2 l_2 dl_2}{V - V_2} = 0.$$

Mais, comme $l_1 + l_2 = L$, on a :

$$dl_1 = -dl_2.$$

L'économie maxima sera donc obtenue lorsqu'on aura :

$$\frac{i_1 l_1}{V - V_1} = \frac{i_2 l_2}{V - V_2},$$

ce qui conduit à :

$$d_1 = d_2.$$

Le système des quatre équations :

$$d_1 = d_2,$$
$$l_1 + l_2 = L,$$
$$V - V_1 = \alpha \frac{l_1 i_1}{d_1^2},$$
$$V - V_2 = \alpha \frac{l_2 i_2}{d_2},$$

permet de déterminer les quatre inconnues d_1, d_2, l_1, l_2, et partant de déterminer le point V.

2° *Aux points* V_1, V_2, V_3, *d'une ligne de longueur* $L = x + l_1 + l_2$, *on doit avoir des tensions* V_1, V_2, V_3. *Les distances* $x + l_2 = \lambda$ *et* l_1, *sont connues. La ligne est alimentée au potentiel* V ; *les intensités respectives sont* i_1, i_2, i_3. *On demande à quelle distance* x *de l'extrémité doit être faite l'alimentation.*

---

(1) *L'Elettricista*, 1er avril 1897.

(2) BOCHET, *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 484, 13 mars 1897.

Les équations correspondantes sont :

$$V - V_2 = \alpha \frac{l_2 (i_1 + i_2)}{d_2^2},$$
$$V_2 - V_1 = \alpha \frac{l_1 i_1}{d_1^2},$$
$$V - V_3 = \alpha \frac{x i_3}{d^2},$$
$$x d^2 + l_1 d_1^2 + l_2 d_2^2 = \text{minimum},$$
$$x + l_1 + l_2 = L,$$
$$x + l_2 = \lambda.$$

Ces deux dernières donnent

$$dl_1 = 0 \quad \text{et} \quad dx = - dl_2,$$

ce qui conduit à

$$x = \lambda \frac{(V - V_3)(i_1 + i_2)}{(V - V_2) i_3 + (V - V_3)(i_1 + i_2)}.$$

3° *D'une station centrale partent des conducteurs de longueurs l_1, l_3, l_3... l_n qui servent à alimenter des sous-stations où les potentiels respectifs doivent être v_1, v_2... v_n. Les intensités correspondantes sont i_1, i_2... i_n. On demande à quel potentiel* V *doit être engendré le courant à l'usine centrale pour que la dépense en conducteurs soit minima.*

Les équations sont :

$$V - V_1 = \alpha \frac{i_1 l_1}{d_1^2},$$
$$V - V_2 = \alpha \frac{i_2 l_2}{d_2^2},$$
$$\cdots\cdots\cdots$$
$$V - V_n = \alpha \frac{i_n l_n}{d_n^2},$$
$$l_1 d_1^2 + l_2 d_2^2 + \ldots + l_n d_n^2 = \text{minimum}.$$

En substituant, dans cette dernière expression, à d_1, d_2 ... d_n, leurs valeurs tirées des premières, et en différenciant par rapport à V, on a :

$$\frac{l_1^2 i_1}{(V - V_1)^2} + \frac{l_2^2 i_2}{(V - V_2)^2} + \cdots \frac{l_n^2 i_n}{(V - V_n)^2} = 0.$$

Les premières équations élevées au carré et transformées donnent :

$$\frac{l_1^2}{(V - V_1)^2} = \frac{d_1^4}{\alpha^2 i_1^2},$$
$$\frac{l_2^2}{(V - V_2)^2} = \frac{d_2^4}{\alpha^2 i_2^2},$$
$$\cdots\cdots\cdots$$
$$\frac{l_n^2}{(V - V_n)^2} = \frac{d_n^4}{\alpha^2 i_n^2};$$

la condition d'économie maxima peut donc s'écrire :

$$\frac{d_1^4}{i_1} + \frac{d_2^4}{i_2} + \ldots + \frac{d_n^4}{i_n} = 0.$$

Cette équation, jointe aux n premières, donne un système de $(n + 1)$ équations permettant de déterminer les n diamètres et le potentiel V. G. P.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du mercredi 5 mai 1897.

Au début de la séance, M. J.-F. Lasnier décrit le *système de traction électrique employé sur les lignes de la Madeleine à Courbevoie-Neuilly et Levallois*. Ces installations seront bientôt décrites en détail dans nos colonnes ; nous résumerons donc brièvement cette communication.

Les trois lignes suivantes sont desservies :

Madeleine à Courbevoie-Neuilly .	6,7 km
Madeleine à Courbevoie (place Victor-Hugo)	6,6 »
Madeleine à Levallois	4,7 »

Quoique le profil ne soit pas trop accidenté, on y trouve des rampes sensibles, de grandes longueurs, sur lesquelles doivent se faire de nombreux démarrages, telles que celle de l'avenue de Villiers, longue de 1 000 m environ, et ayant 13 mm par mètre, et celle du boulevard Malesherbes, ayant 20 mm par mètre.

Une seule usine est établie, sur les rives de la Seine, à Puteaux ; le courant électrique y est engendré à la tension de 600 à 660 volts ; il est conduit par des feeders souterrains à trois postes de chargement situés chacun à l'extrémité d'une des trois lignes de tramways ; ces feeders, qui ont le premier 650 m seulement de longueur, le second 2 km et le

troisième 3,5 km, sont calculés pour entraîner des pertes de charge égales.

Les postes de chargement proprement dits sont des colonnes en fonte, semblables à celles qui servent à loger, à Paris, les avertisseurs d'incendies ; les feeders arrivent à l'intérieur de cette colonne et y sont terminés par des douilles servant de prises de courant.

Les voitures, à impériale et à 52 places, sont à accumulateurs ; on n'a pu employer le système mixte par suite de difficultés administratives. Chaque voiture reçoit 200 éléments Tudor à charge rapide, pesant chacun 3,600 kg ; chaque élément est formé de 5 plaques (3 négatives et 2 positives) ; ils sont logés sous les banquettes et sont toujours montés en série, soit pour la charge, soit pour la décharge ; le réglage de la vitesse se fait, comme dans le système à trôlet, par le groupement des 2 moteurs de la voiture soit en série, soit en quantité et par l'introduction de résistances dans le circuit des moteurs.

La capacité des accumulateurs est suffisante pour leur permettre d'alimenter les moteurs pendant un voyage aller et retour ; le départ se fait aux terminus de Courbevoie et de Levallois où les accumulateurs sont chargés sans être retirés de la voiture, simplement en mettant les extrémités de la batterie en communication par des câbles volants avec les douilles de prise de courant que nous signalions plus haut. Un avertisseur de fin de charge, placé dans la colonne, fait retentir une sonnerie lorsque la charge est complète ; il se compose de deux solénoïdes agissant en sens contraire sur un même noyau, lequel ferme le circuit de la sonnerie lorsque la force électromotrice de la batterie a atteint la valeur convenable. La charge de chaque batterie ne durerait que de 8 à 13 minutes.

Les voitures sont très confortables et M. Lasnier signale ce point fort intéressant que chaque voyageur d'intérieur a, pour s'asseoir, une longueur de banquette égale à 50 cm, ce qui serait, paraît-il, largement suffisant pour la moyenne des voyageurs. Les places d'impériale sont moins spacieuses : 47 cm seulement !

Certaines voitures ont déjà accompli un parcours de 6 000 km environ, et les batteries sont encore en très bon état ; M. Lasnier en conclut que ces voitures pourront faire encore leur service pendant quelque temps sans réparation.

Des essais ont été faits à différentes reprises. Le 17 avril dernier, entre 1 heure et 5 heures de l'après-midi, on mesura, au moyen d'enregistreurs Richard, l'énergie électrique dépensée ; la moyenne de 16 charges consécutives fut de 11 768 watts-heure par charge ; le parcours correspondant était de 14 km ; la dépense par voiture-kilomètre était donc de 840 watts-heure.

On fit une seconde série d'essais du 1er au 3 mai ; on mesurait le courant sorti de l'usine au moyen d'appareils Kelvin ; des enregistreurs du même modèle étaient placés sur les voitures et mesuraient le courant fourni par les batteries. Il y avait 8 voitures en service ; les essais ont porté sur 151 charges consécutives pendant les 48 heures qu'ont duré les essais.

Le courant sorti de l'usine représente 1 638 000 watts-heure, soit 10 853 watts-heure par charge, ou 775 watts-heure par voiture-kilomètre. Les appareils enregistreurs placés sur les voitures ont indiqué que la quantité d'énergie électrique fournie par les batteries aux voitures était en moyenne de 545 watts-heure par voiture-kilomètre. D'après ces essais, le rendement combiné des feeders et des batteries serait donc de 71 p. 100, résultat très satisfaisant, si la pratique le confirme.

La consommation de charbon indique, du reste, un rendement total satisfaisant, car pour 1042 voitures-kilomètres, comprenant 952 km de service public et 90 km de service d'essais, la consommation de charbon fut de 2 700 kg, soit 2,591 kg par voiture-kilomètre. Comme le service n'a pas encore reçu son entier développement et que certaines dépenses de combustibles sont fixes,

quel que soit le service, on espère descendre d'ici peu à 2 kg par voiture-kilomètre.

M. Lasnier discute encore ce que seront les frais d'entretien en se basant sur l'expérience des tramways de Hanovre, où le système mixte est en service; le parcours accompli par les voitures sans le secours du trôlet, c'est-à-dire rien que par l'énergie fournie par les accumulateurs, a été de 371 294 km; les dépenses correspondantes pour l'entretien des batteries a été de 1,65 centime par voiture-kilomètre.

M. E. Hospitalier entretient ensuite la Société des *Automobiles électriques*, sujet tout d'actualité, quoique les applications soient plutôt futures. Cependant, depuis un mois environ, 12 fiacres électriques sont en service à New-York; mais comme dans cette ville, les voitures se paient à raison de 3 dollars (15 francs) l'heure, les résultats qu'on y obtient ne seraient pas applicables dans toutes les villes, à Paris, notamment, où l'heure se paie 2 francs. Cependant, les progrès réalisés dans ces derniers temps, ainsi que les résultats obtenus avec les voitures d'essai, font prévoir que la période des applications pratiques ne tardera pas à s'ouvrir; on peut, sans être trop taxé d'optimisme, affirmer que d'ici un an, des services réguliers de fiacres électriques existeront dans Paris.

Ces progrès sont le résultat d'efforts remontant déjà à plus de quinze ans; M. Hospitalier rappelle, en effet, qu'il prédisait en 1881, dans *La Nature*, l'avènement du « cheval électrique ». Mais à cette époque la réalisation de l'automobile électrique n'était pas possible par suite de l'imperfection des accumulateurs et des moteurs.

Avant tout, puisqu'on veut remplacer le cheval par le moteur électrique, il faut se rendre compte exactement de la valeur du cheval comme moteur. On sait que Watt a pris le cheval comme terme de comparaison. Il a trouvé qu'un bon cheval produisait en moyenne 2 200 pieds-livres par minute; pour donner satisfaction à ses clients, il adopta pour le cheval-vapeur une puissance moitié plus grande, soit 33 000 pieds-livres par minute. C'est de là qu'est venu notre cheval-vapeur de 75 kgm-s. Mais en réalité on ne peut demander à un animal la régularité d'une machine; non seulement il existera des différences notables entre deux animaux différents, mais encore, entre le travail fourni par un même animal deux jours de suite, suivant son état de santé et la nature du travail qu'on lui fera exécuter. D'après un tableau donné par M. Hospitalier, la puissance d'un cheval varie entre 38,5 kgm-s pour un cheval de halage et 65 ou 70 kgm-s pour un cheval de roulage; pour un cheval attelé à une voiture de maître, la puissance est d'environ 49 kgm-s. La somme totale de travail que peuvent fournir ces animaux dans la journée, c'est-à-dire l'énergie emmagasinée dans les hippomoteurs, serait de 1 386 000 kgm, 2 040 000 kgm, 1 058 000 kgm respectivement pour les trois classes de chevaux que nous venons de citer.

Donc, en résumé, un cheval produit une puissance de 500 watts et une énergie totale de 3 kilowatts-heure. Rapportés au poids moyen des animaux, ces chiffres donnent la puissance spécifique à 1 watt par kilogramme et l'énergie spécifique à 5 watts-heure par kilogramme. Elles sont donc toutes deux très peu élevées. Mais le cheval rachète ce défaut par d'autres qualités précieuses. D'abord, les organes servant à régler l'allure du cheval, la puissance qu'il fournit, la direction, sont simplement réglées par les rênes, que le cocher tient dans les mains; la conduite de l'hippomobile est douce (lorsque le cheval obéit passivement); ensuite le cheval peut donner des coups de collier très puissants, aux démarrages ou dans la montée des rampes; lors de ces coups de collier l'effort du cheval atteint parfois 200 ou 300 kg; enfin il peut atteindre des vitesses considérables.

On peut diviser les automobiles électriques en deux grandes classes:

1° Les automobiles à piles ;

2° Les automobiles à accumulateurs.

Les premières ne sont pas pratiques par suite des manipulations désagréables qu'entraîne l'entretien des piles et par suite du prix de revient trop élevé de l'énergie électrique ainsi engendrée. Les tentatives faites pour réaliser un véhicule de ce genre sont du reste très peu nombreuses ; M. Hospitalier ne s'occupe que des voitures de la seconde classe ; il propose de leur donner le nom bizarre d'*accumobiles*, qui nous paraît avoir peu de chance d'être adopté.

Elles sont très simples, car leur mécanisme moteur ne comprend qu'une batterie, un moteur, un commutateur de mise en marche et de réglage de vitesse, et enfin, si l'on n'emploie qu'un seul moteur, un engrenage différentiel pour permettre les virages. M. Hospitalier fait remarquer que les principaux organes employés dans la construction de la voiture propement dite sont pour la plupart d'invention déjà ancienne ; c'est ainsi que l'essieu brisé date de 1818, les roulements à billes de 1825 et le pneumatique de 1845 ; — l'inventeur de ce dernier porte le même nom qu'un électricien célèbre : il s'appelait William Thomson.

Les voitures modernes peuvent être construites très légèrement, tout en ayant une grande solidité par suite de l'emploi des tubes d'acier dont la construction de la bicyclette a généralisé l'usage ; les organes électriques eux-mêmes, moteurs, accumulateurs ont de même reçu des perfectionnements considérables qui ont permis de diminuer leur poids tout en augmentant leur rendement.

La diminution du coefficient de résistance au roulement que permet d'obtenir le pneumatique est considérable ; il permet de réaliser des économies pouvant atteindre et dépasser 30 p. 100 par rapport aux roues munies de bandages en fer ou en caoutchouc plein ; un fait remarquable, c'est que ce dernier, dans certaines circonstances, donne une plus grande résistance que le fer.

Les perfectionnements qu'ont reçus les accumulateurs sont des plus considérables. Tandis qu'en 1880, les accumulateurs Faure essayés au Conservatoire des Arts et Métiers avaient une puissance spécifique de 0,6 par kilogramme et une énergie spécifique de 7 watts-heure par kilogramme, les accumulateurs Fulmen de 1897, d'un poids de 7 kg, ont pu donner une puissance spécifique de 1,5 watt par kilogramme et une énergie spécifique de 30 watts-heure par kilogramme pour de faibles débits, tandis que, pour des débits intenses, la puissance spécifique atteignit 10 watts-heure, l'énergie spécifique ne descendant pas au-dessous de 20 kilowatts-heure-kilogramme. Ces chiffres comparés avec ceux que nous donnions plus haut pour le cheval montrent toute la supériorité de l'accumulateur. Pour le service des automobiles, on peut compter sur 200 kg par kilowatt et sur 40 à 50 kg par kilowatt-heure.

Les moteurs électriques n'ont pas reçu des perfectionnements moindres. Les moteurs de faible puissance, tels que ceux employés sur les automobiles avaient, en 1881, un rendement de 60 p. 100 au plus et pesaient de 30 à 40 kg par cheval ; à l'heure actuelle, leur rendement atteint 75 à 85 p. 100 et leur poids de 15 à 20 kg. En outre le moteur électrique présente sur le moteur à pétrole des avantages considérables par suite de sa parfaite auto-régulation. Dans le moteur à pétrole le couple du moteur est constant, autrement dit le travail par coup de piston est constant ; lorsque la puissance à fournir augmente, comme, par exemple sur les rampes, la vitesse du moteur devrait donc augmenter ; mais comme on ne dispose pas d'une réduction de vitesse suffisante ; il arrive au contraire que le moteur ralentit son allure alors qu'il devrait l'augmenter. Le moteur électrique, lui, règle son allure et le courant qu'il absorbe d'après le travail qu'on lui demande ; son auto-régulation est si parfaite qu'il permet de récupérer lorsque la résistance est négative, comme sur les pentes.

Les avantages des « accumobiles » (!) au point de vue général sont les suivants :

1° Sécurité absolue; on sait qu'une automobile à pétrole a pris feu sur le boulevard Haussmann.

2° Absence de bruit et de trépidation;

3° Arrêt complet du moteur pendant les périodes de repos;

4° Absence de chaleur;

5° Absence d'odeur; ce point est encore très important, ainsi que le suivant;

6° Propreté;

7° Simplicité de construction;

8° Simplicité de mise en marche et d'arrêt.

Ses qualités équivalentes avec la voiture à pétrole sont les suivantes :

Élégance. — L'élégance est à peu près négative pour les deux systèmes; mais il faut reconnaître qu'il y a là une question d'accoutumance;

Économie. — Est à peu près la même pour les deux systèmes;

Prix d'achat. — On ne vend pas encore d'automobiles électriques, mais on peut facilement établir que leur prix de vente ne dépassera pas celui des pétrolettes.

Par contre, il faut citer les inconvénients des voitures électriques; le premier est la nécessité d'une usine de rechargement des accumulateurs, ce qui empêche les voitures de circuler dans un rayon trop éloigné de leur usine de rechargement; le second réside dans le poids élevé du moteur et de la batterie d'accumulateurs; c'est un inconvénient relatif et il faut d'ailleurs remarquer que ce poids est inférieur à celui du cheval; un troisième inconvénient réside dans la nécessité où l'on se trouve de renouveler les batteries qui s'usent assez rapidement; enfin l'emploi des acides fait craindre des accidents, mais il est facile d'avoir des boîtes suffisamment closes pour éviter la projection du liquide corrosif.

Au point de vue du rechargement, on peut envisager trois solutions principales :

1° La charge rapide en station; elle semble peu pratique, d'autant plus que les accumulateurs à charge rapide ont une faible capacité spécifique;

2° Le remplacement des batteries épuisées par des batteries nouvellement chargées; cette solution est adoptée en Amérique; mais elle conduirait à créer un monopole de fait en forçant à employer un type unique de batteries;

3° Enfin la charge lente, pendant la nuit; cette solution semble la meilleure; les voitures accompliraient leur service diurne avec le courant des batteries, soit que la capacité de celles-ci soit suffisante pour toute la durée du parcours quotidien, soit que cette capacité ne leur permette d'accomplir qu'une partie de ce parcours et qu'on établisse un service de relayage, comme pour les chevaux; il évident que les stations centrales pourraient, dans ces conditions, vendre le courant de charge à très bon marché, puisqu'elles utiliseraient leur matériel et leur personnel aux heures de faible charge. Il serait bon qu'un enregistreur électrique placé sur chaque voiture avertisse le cocher lorsque sa batterie est presque épuisée afin qu'il puisse aller « relayer ».

On peut encore citer d'autres solutions particulières :

1° On a proposé d'adopter aux automobiles le système Heilmann;

2° On a proposé et essayé de placer sur chaque voiture à accumulateurs un petit moteur à pétrole actionnant une dynamo dont le courant rechargerait la batterie; ce moteur marcherait constamment à pleine charge même pendant les arrêts et maintiendrait ainsi la batterie chargée; on pourrait de cette façon accomplir d'assez longs parcours;

3° On a proposé d'appliquer le trôlet aux automobiles; mais ce ne seraient plus alors que des automotrices;

4° Enfin, M. Hospitalier propose, sous le nom de « kilowatts mobiles », l'emploi de batteries de rechange, d'une capacité de 1 kilowatt chacune qui seraient déposées en des points fixes et qu'on échangerait contre une partie de la batterie épuisée.

M. Hospitalier retrace ensuite l'historique des différentes voitures électriques construites et en décrit les différents modèles; nous reviendrons bientôt sur ce sujet; nous nous contenterons aujourd'hui de citer les noms des inventeurs et les dates d'invention.

En 1882, M. Ayrton construisit un petit tricycle électrique; la direction se faisait par la roue d'arrière; en 1887, M. Vogt construisit pour le sultan un tricycle électrique à plusieurs places; en 1889, MM. Vogt et Immish construisirent également une voiture électrique à 4 places; en 1895, le comte Carli construisit un tricycle électrique qui devait prendre part à la course du *Petit Journal*; ce tricycle fut retenu à la douane et ne fonctionna pas, en France tout au moins; vers la même époque, M. Pouchain, d'Armentières, construisit une voiture électrique qui fut très remarquée; en 1894, M. Janteaud construisit sa première voiture électrique qui avait la forme d'un tricycle; en 1894 et 1895, MM. Morris et Salom, en Amérique, commençèrent une série d'études avec des voitures d'essai auxquelles ils donnèrent le nom d'électrobats ([1]); le deuxième électrobat des mêmes inventeurs avait la forme d'une voiture, à direction par l'arrière; elle remporta le premier prix dans une course organisée par un journal américain, ce qui était en partie dû à l'emploi des pneumatiques; un troisième type d'électrobat, destiné aux voitures de livraison, fut également construit vers la même époque; tout son bâti était en tubes d'acier, pratique qui tend à se généraliser de plus en plus; le second prix de la course ci-dessus fut gagné par une autre voiture électrique construite par M. Sturge et dont la forme rappelait celle d'un corbillard, la batterie étant renfermée dans un coffre placé à l'arrière de la voiture; en 1894, M. Janteaud construisit une seconde voiture électrique, à 6 places, qui prit part à la course Paris-Bordeaux et effectua un parcours de 600 km, grâce à l'emploi de batteries de rechange, disposées le long de la route; plus récemment, M. Krieger entreprit de construire des fiacres électriques ([1]); M. Riker construisit à New-York des voitures électriques avec bâtis en tubes d'acier qu'il nomma electric-traps; M. Hospitalier présente ensuite le coupé électrique de M. Darracq qu'on a pu voir au dernier salon du Cycle; un omnibus électrique, construit par M. Ward, a circulé à Londres; il était caractérisé par l'emploi de roues motrices de très petit diamètre qui permettaient d'employer de moindres réductions de vitesse; enfin, nous arrivons aux fiacres électriques en service à New-York, qui sont construits par MM. Morris et Salom; ils ont la forme d'un cab, le cocher étant assis à l'arrière; sous son siège sont disposés les accumulateurs; la direction se fait par les roues d'arrière.

On peut ajouter qu'en France différentes personnes s'occupent de réaliser des automobiles pratiques, notamment MM. Jauteaud, Darracq, Krieger, Mildé.

La dernière question à laquelle il faut répondre est la suivante : que coûtera la traction électrique automobile ?

D'après les expériences de M. Salom, faites avec une voiture pesant 900 kg (voiture à 2 places), à la vitesse de 8 km-heure, il faut 80 watts-heure par tonne kilométrique; à la vitesse de 19 km-heure, 84 watts-heure et à la vitesse de 32 km-heure, 95 watts-heure. En tenant compte des démarrages, de l'état des chaussées, des rampes, on peut donc admettre qu'à Paris, on ne dépenserait pas plus de 100 watts-heure par tonne kilométrique.

Or, un fiacre électrique péserait à peu près une tonne, soit avec les voyageurs et le cocher, environ 1200 kg. Avec un parcours quotidien de 75 à 80 km, pour lequel une batterie de 300 kg suffirait, on dépenserait

([1]) M. Hospitalier pense que ce mot signifie bât électrique; il est plus probable que le suffixe bât vient de la racine grecque βαινω, je marche, qui est employée, du reste, dans d'autres mots, tels qu'acrobate, par exemple.

([1]) *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 132, 16 janvier 1897.

environ 10 kilowatts-heure, en tenant compte du rendement des accumulateurs. Les stations centrales vendraient le courant à 0,30 ou 0,40 fr le kilowatt-heure. La dépense d'énergie électrique serait donc de 3 à 4 fr par jour au maximum; les frais d'entretien, qu'on ne peut qu'évaluer, ne dépasseraient pas 3 fr par jour, car cela ferait plus de 1000 fr par an. L'ensemble des frais serait donc de 6 à 7 fr par jour; le salaire du cocher serait le même qu'avec la traction animale; d'autre part, on éviterait le gaspillage si considérable sur les fourrages et le loyer des écuries.

Les automobiles électriques ont donc un large avenir et nous pouvons en attendre l'avènement d'ici peu. G. P.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du vendredi 7 mai 1897.

M. Henri Becquerel expose ses recherches sur *la déperdition de l'électricité sous l'influence des rayons émis par l'uranium,* dont les principaux résultats sont déjà connus de nos lecteurs [1]. M. Becquerel a étudié le rôle de la pression de l'air en répétant une expérience de déperdition dans une ampoule de verre reliée à une trompe. Dans le vide aucun effet ne se produit, la vitesse de déperdition, serait, d'après des essais préliminaires, à peu près en raison inverse de la racine carrée de la pression. Dans l'hydrogène, sous la pression atmosphérique, la décharge est notablement plus lente.

M. Broca, rappelle, à ce propos, les expériences de M. Villari, relatives à l'influence de l'ozonisation des gaz sur la déperdition de l'électricité [2].

M. Guillaume croit que les effets que MM. Lenard et Wolf ont attribués à la pulvérisation d'une cathode sous l'influence des rayons ultra-violets sont dus en réalité à

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 1er mai, p. 269.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 36 et 117, 27 mars et 10 avril 1897.

l'ionisation de l'air condensé sur le métal [1].

M. Guillaume expose *les recherches* de MM. Rubens et Nichols *sur le spectre infra-rouge.*

Quelques points seulement de ces recherches très spéciales intéresseront les électriciens. Le radiomètre, malgré les inconvénients qu'il présente d'être difficile à transporter, de ne recevoir les radiations actives que dans une seule direction et de comporter une fenêtre nécessairement absorbante, a été préféré au bolomètre qui est sujet aux perturbations causées par les courants d'air, les forces magnétiques, les forces électromotrices thermo-électriques. Les auteurs ont répété, avec des longueurs d'onde de 24 μ, soit environ quatre fois plus grandes que celle de la raie D, une expérience dans laquelle M. Garbasso avait montré que des ondes électromagnétiques de Hertz sont réfléchies avec intensité par un résonnateur de même période parallèle à la direction de la vibration électrique.

Sur une lame de verre argenté on avait découpé des bandes de 5 μ de largeur, recoupées perpendiculairement de façon à former des rectangles ayant respectivement pour base 6, 12, 18 et 24 μ, plus une bande de très grande longueur. Voici les valeurs des coefficients de réflexion observées :

Longueur du rectangle.	Vibration de Fresnel. Parallèle.	Perpendiculaire.
∞	78 %	21
6 μ $\left(\frac{\lambda}{4}\right)$	23	18
12 μ	54	24
18 μ	33	21
24 μ (λ)	50	15

Les dimensions n'ont pas d'influence quand la vibration est perpendiculaire à la longueur;

(1) Nous avons toujours considéré comme suffisante l'explication donnée par Helmholtz, qui suppose que les molécules dont la période propre est en résonance avec celle des ondes lumineuses prennent des mouvements assez violents pour être détachés de la masse, voir *Wiedemann's Annalen*, t. XLVII et *La Lumière Électrique*, t. XLIX, 473. — C. R.

au contraire quand elle est parallèle, les rectangles qui peuvent fonctionner comme résonnateurs $\left(\infty, \frac{\lambda}{2}, \lambda\right)$ renforcent énergiquement l'onde réfléchie.

M. Guillaume explique l'anomalie que présentent certains liquides au point de vue de la dispersion électrique. Les corps qui font exception à la loi de Maxwell contiennent tous un groupe OH (eau, alcool, etc.); il en est de même, d'après M. Ramsay, pour tous les corps qui, présentent l'association moléculaire. Cette association, dégageant une quantité de chaleur plus intense, doit se produire sous l'action de forces très faibles, ce qui correspond à des vibrations de très longue période. C. R.

Contribution à la théorie des ondes stationnaires;

Par P. Drude [1].

L'auteur rappelle en premier lieu les équations données par Kirchhoff [2] pour représenter la propagation d'une perturbation électrique dans deux fils parallèles. En partant de ces équations, on trouve que l'intensité i du courant aussi bien que la charge électrostatique apparente par unité de longueur, ε, doivent vérifier l'équation différentielle,

$$r\frac{\partial i}{\partial t} = 2\log\frac{d}{R}\left\{-\frac{\partial^2 i}{\partial t^2} + v^2\frac{\partial^2 i}{\partial z^2}\right\}. \qquad (1)$$

L'axe des z est parallèle à l'axe des fils, r est la résistance des fils par unité de longueur, d la distance de ces fils, R leur rayon, v le rapport des unités électrostatique et électromagnétique de quantité d'électricité.

Si en un point $z = b$ des fils se trouve un pont métallique B, le courant se divise en ce point en deux parties : l'une i' qui passe par le pont, l'autre i'' qui continue son chemin dans les fils. Désignons par r' la résistance totale du pont dont la longueur est l; d'après la loi d'Ohm,

$$i'r' = E'_1 + E'_2. \qquad (2)$$

E'_1 étant la force électromotrice provoquée par les variations du courant i' dans toute la longueur du pont et E'_2 la force électromotrice due à la charge apparente ε qui existe sur les fils $z = b$; on fait abstraction de la charge qui existe sur le pont lui-même, laquelle n'est appréciable que si le pont est très long. Si L est le coefficient d'induction propre du pont,

$$E'_1 = -L\frac{\partial i'}{\partial t} \times l. \qquad (3)$$

Il est impossible d'évaluer exactement le coefficient L. Si, à quelque distance d' de B, se trouve un second pont B′, traversé par un courant de retour i', on peut prendre approximativement :

$$L = 2\log\frac{d'}{R'}, \qquad (4)$$

R′ étant le diamètre des fils dont sont formés les ponts. S'il n'y a pas d'autre pont, il faut admettre que le retour du courant se fait sous forme de courant de déplacement, dans l'air qui se trouve entre les fils, et d'autant plus près de ceux-ci que les ondes sont plus courtes. Comme ce courant est maximum à la distance $\frac{1}{4}\lambda$ du pont B, on posera, par approximation :

$$L = 2\log\frac{1}{4}\frac{\lambda}{R}, \qquad (5)$$

et par conséquent L sera regardé comme constant, tant qu'un second pont ne se trouvera pas à une distance de B plus petite que $\frac{1}{4}\lambda$.

D'autre part,

$$E'_2 = v \times 4\,\varepsilon\log\frac{d}{R}. \qquad (6)$$

En remplaçant dans l'équation (2) E'_1 et E'_2 par leurs valeurs, il viendra, si on néglige la résistance r' du pont :

$$Ll\frac{\partial i'}{\partial t} = 4\,v\varepsilon\log\frac{d}{R}, \qquad (z = b). \qquad (7)$$

---

(1) *Wied. Ann.*, t. LX, p. 1-47, 1897.

(2) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 433.

Jointe aux deux suivantes :

$$i = i' + i'' \quad (z = b), \tag{8}$$
$$\varepsilon = \varepsilon'' \quad (z = b), \tag{9}$$

cette équation détermine les conditions qui sont remplies au point où se trouve le pont : ε'' représente la charge apparente sur les fils au delà du pont.

Réflexion et transmission des ondes sur le pont. — Supposons qu'il s'agisse d'une perturbation périodique, amortie en fonction du temps, se propageant le long des fils en avant du pont :

$$\varepsilon = Ae^{-\gamma\left(\frac{t}{T}-\frac{z}{\lambda}\right)} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{z}{\lambda}\right). \tag{10}$$

Dans cette expression, T est la période, λ la longueur d'onde et γ le décrément logarithmique. Cette équation signifie que la perturbation

$$\varepsilon = Ae^{-\gamma\frac{t}{T}} \cos 2\pi \frac{t}{T}, \tag{11}$$

se propage vers les z positifs, sans affaiblissement. Suivant une méthode connue, on peut représenter ε par une exponentielle imaginaire :

$$\varepsilon = Ae^{\alpha\left(\frac{t}{T}-\frac{z}{\lambda}\right)}, \tag{12}$$

en posant,

$$\alpha = -\gamma + 2\pi\sqrt{-1},$$

et d'après la relation générale,

$$-\frac{\partial i}{\partial z} = \frac{1}{v}\frac{\partial \varepsilon}{\partial t}.$$

on aura aussi :

$$i = Ae^{\alpha\left(\frac{t}{T}-\frac{z}{\lambda}\right)}. \tag{13}$$

Ces équations représentent ce que nous appellerons les ondes incidentes. Sur le pont, au point $z = b$, elles sont en partie réfléchies, soit :

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon_r &= A_r e^{\alpha\left(\frac{t}{T}+\frac{z}{\lambda}+\Delta\right)}, \\ i_r &= -A_r e^{\alpha\left(\frac{t}{T}+\frac{z}{\lambda}+\Delta\right)}, \end{aligned}\right\} \tag{14}$$

en partie, elles continuent leur chemin :

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon'' &= A'' e^{\alpha\left(\frac{t}{T}\frac{z}{\lambda}+\Delta''\right)}, \\ i'' &= A'' e^{\alpha\left(\frac{t}{T}\frac{z}{\lambda}+\Delta''\right)}, \end{aligned}\right\} \tag{15}$$

La perturbation qui arrive au pont est la somme de la perturbation incidente (13) et de la perturbation réfléchie (14). En exprimant que les conditions que nous avons écrites ci-dessus sont satisfaites, nous trouverons :

$$A_r e^{\alpha\Delta} = -\frac{Ae^{-2\alpha\frac{b}{\lambda}}}{1 + \dfrac{\alpha l L}{2\lambda \log \dfrac{d}{R}}}, \tag{16}$$

et

$$A'' e^{\alpha\Delta''} = A \frac{\alpha l L : 2\lambda \log \dfrac{d}{R}}{1 + \dfrac{\alpha l L}{2\lambda \log \dfrac{d}{R}}}. \tag{17}$$

Lorsqu'on peut négliger $\alpha l L$ vis-à-vis de $2\lambda \log \frac{d}{R}$, il reste seulement :

$$A_r = -A, \qquad A'' = 0, \qquad \Delta = -\frac{2b}{\lambda},$$

en d'autres termes : quand les ondes se réfléchissent sur un pont très court, l'onde réfléchie a même amplitude au signe près, que l'onde incidente et l'onde transmise est nulle.

Lorsque cette approximation n'est pas possible, nous poserons

$$\zeta = L : 2 \log \frac{d}{R},$$

et nous définirons quatre quantités (réelles) auxiliaires ρ, φ, ρ'', φ'' par les relations suivantes :

$$\frac{1}{1 + \alpha\zeta\frac{l}{\lambda}} = \rho e^{-\alpha\varphi},$$

$$-\alpha = \rho'' e^{-\alpha\varphi''}.$$

D'où :

$$\left.\begin{aligned} \tang 2\pi\varphi &= \frac{2\pi\zeta\frac{l}{\lambda}}{1-\gamma\zeta\frac{l}{\lambda}}, \\ \rho^2 e^{2\gamma\varphi} &= \frac{1}{\left(1-\gamma\zeta\frac{l}{\lambda}\right)^2+\left(2\pi\zeta\frac{l}{\lambda}\right)^2}, \\ \tang 2\pi\varphi'' &= \frac{2\pi}{\gamma}, \\ \rho^2 e^{2\gamma\varphi''} &= \gamma^2+4\pi^2. \end{aligned}\right\} \quad (19)$$

Les équations qui donnent A, A″, Δ et Δ s'écriront alors :

$$A_r e^{\alpha\Delta} = -A\rho e^{-\alpha\left(\varphi+2\frac{b}{\lambda}\right)},$$

$$A_r = -A\rho, \qquad \Delta = -2\frac{b}{\lambda}-\varphi, \qquad (20)$$

et

$$A'' e^{\alpha\Delta''} = -A\rho\rho''\zeta\frac{l}{\lambda}e^{-\alpha(\varphi+\varphi'')},$$

$$A'' = -A\rho\rho''\zeta\frac{l}{\lambda}, \qquad \Delta'' = -\varphi-\varphi''. \qquad (21)$$

Des équations (19), il résulte que $\rho e^{\gamma\varphi}$ est < 1, du moment que γ est $< 2\pi^2\zeta\frac{l}{\lambda}$; or γ est toujours plus petit que 0,5 et par conséquent la précédente relation est toujours vérifiée pour les ponts de faible longueur. D'autre part, $\rho e^{\gamma\varphi}$ représente le rapport entre l'amplitude de l'onde réfléchie et l'amplitude de l'onde incidente. Par conséquent, l'amplitude de l'onde réfléchie est toujours plus petite que l'onde incidente, d'autant plus petite que la longueur du pont est plus considérable.

De l'équation (21), il résulte que l'amplitude de l'onde transmise croît constamment avec la longueur l du pont, à laquelle elle est proportionnelle, lorsque le pont est court.

Lorsque le pont est court, φ est très petit; φ'' est au contraire, voisin de 1/4 ; la phase de l'onde transmise diffère donc de celle de l'onde incidente de presque $\frac{\pi}{2}$.

Pour se représenter le changement de phase de l'onde réfléchie, il est commode de remplacer le pont réel B, de longueur l, par un pont idéal de longueur nulle, placé en un certain point $\zeta = b'$. Ce pont ne ferait que réfléchir l'onde, sans changement d'amplitude et lui donnerait la phase :

$$\Delta = -\frac{2b'}{\lambda}.$$

Si Δ doit être le même, il faut que :

$$b' - b = \varphi\frac{\lambda}{2}.$$

Cette différence $b' - b$ sera appelée dans ce qui suit, le recul du pont ; d'après son signe, on voit que le pont idéal est toujours en arrière du pont réel.

Pour les ponts courts, on peut prendre $\tang\varphi = \varphi$ et alors on a :

$$b' - b = \frac{1}{2}l\zeta,$$

c'est-à-dire que le recul du pont est alors proportionnel à la longueur du pont et croît lentement avec la longueur d'onde (comme ζ). Ces conséquences se vérifient du reste expérimentalement. En gros, le recul du pont est égal à la moitié de sa longueur.

Si γ est petit vis-à-vis de 2π, comme c'est le cas le plus fréquent, le rapport $\rho e^{\gamma\varphi}$ ne diffère de l'unité que par un terme du second ordre, si on regarde la longueur du pont comme étant de premier ordre. Si $2\pi\zeta\left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$ peut être négligé vis-à-vis de 1, ce qui arrive en général, le recul du pont peut être sensible, alors que l'affaiblissement dû à la réflexion n'est pas appréciable.

Système présentant deux ponts. — Dans les systèmes employés pour déterminer les longueurs d'onde (Lecher, Blondlot), se trouvent deux ponts : l'un B_1, fixe, qui sera l'origine des ζ, l'autre B_2, qu'on déplace jusqu'à ce qu'il se trouve à une distance $b = \beta\lambda$ de B_1. Au temps $t = 0$, l'excitateur envoie par dessus le premier pont B_1 une onde :

$$P_0 = e^{\alpha\left(\frac{t}{T}-\frac{\zeta}{\lambda}\right)}.$$

Cette onde atteint le point P ($\zeta = p\lambda$) au

temps $t = pT$; elle est réfléchie, sur le pont B_1, au temps $t = \beta t$ et l'équation de l'onde réfléchie sera :

$$P_1 = A_r e^{\alpha\left(\frac{t}{T} + \frac{z}{\lambda} + \Delta\right)} = -\rho^{-\alpha(\varphi + 2\beta)}$$
$$= r e^{\alpha\left(\frac{t}{T} + \frac{z}{\lambda}\right)}. \quad (22)$$

Au temps $t = 2\beta T$, cette onde est réfléchie sur le pont B_2 et devient :

$$P_2 = rr' e^{\alpha\left(\frac{t}{T} + \frac{z}{\lambda}\right)}, \quad (23)$$

$r = -\rho e^{-\alpha\varphi}$ étant le coefficient de réflexion relatif au pont B_1, et ainsi de suite. La force électrique qui existe au point P est la somme des forces dues à toutes les ondes P_0, P_1... successivement réfléchies. Cette somme est :

pour

$$2h\beta + p < \frac{t}{T} < 2(h+1)\beta - p,$$

$$P_1 = \frac{e^{\alpha\frac{t}{T}}}{rr' - 1}\left\{e^{-\alpha p}\left[(rr')^{h+1} - 1\right] + re^{+\alpha p}\right.$$
$$\left.\left[(rr')^h - 1\right]\right\}; \quad (24)$$

pour

$$2(h+1)\beta - p < \frac{t}{T} < 2(h+1)\beta + p,$$

$$P_2 = \frac{e^{\alpha\frac{t}{T}}}{rr' - 1}\left[e^{-\alpha p} + re^{+\alpha p}\right]\left[(rr')^{h+1} - 1\right]. \quad (25)$$

D'ailleurs :

$$rr' = \rho^2 e^{-2\alpha(\varphi + \beta)} = \rho^2 e^{2\gamma(\varphi+\beta)}\, e^{4\pi(\varphi+\beta)\sqrt{-1}}. \quad (26)$$

Le dénominateur commun de P_1 et P^3_2 c'est-à-dire mod. $(rr' - 1)$ est aussi petit que possible, quand :

$$e^{-4\alpha(\varphi\ \ \beta)} = +1,$$

c'est-à-dire quand

$$\varphi + \beta = \frac{1}{2}, \quad \frac{2}{2}, \quad \frac{3}{2} \ldots \text{etc.}$$

Pour ces positions du pont P_1 et P_2 sont maxima; ces positions sont les nœuds relatifs au pont B_2 : il est aisé de reconnaître que la portion des fils interceptée par les deux ponts est en résonance avec le vibrateur. Le premier nœud est à la distance $\frac{\lambda}{2}\ \lambda\varphi$ de B_1, les autres se suivent à la distance $\frac{\lambda}{2}$. Le premier nœud est donc rapproché de B_1, de $\lambda\varphi$, c'est-à-dire d'une longueur égale au double du recul du pont.

De la même manière, on détermine les ventres, correspondant aux minima de P_1 et P_2, c'est-à-dire

$$e^{-4\alpha(\varphi + \beta)} = -1,$$

ou à :

$$\varphi + \beta = \frac{1}{4}, \quad \frac{3}{4}, \quad \frac{5}{4} \ldots \text{etc.}$$

Le premier de ces ventres est à la distance $\frac{1}{4}\lambda - \frac{\lambda\varphi}{2}$ de B_1, soit exactement au milieu de la distance entre B_1 et le premier nœud.

Le maximum de la force électrique P est réalisé à l'époque t qui correspond à la valeur de h déterminée par l'équation $\frac{\partial P}{\partial h} = 0$. Mais dans les conditions ordinaires des expériences, le pont étant très court, on obtiendra déjà une valeur très approchée de ce maximum en prenant $h = \infty$.

Aux nœuds, la valeur maximum de P sera :

$$N = \left(1 + e^{-\frac{\gamma}{2}}\right)\frac{e^{2\gamma\beta}}{e^{2\gamma\beta} - 1},$$

et aux ventres,

$$V = 1 + e^{-\frac{\gamma}{2}} - e^{-2\gamma\beta},$$

β étant remplacé respectivement par les valeurs qui conviennent aux nœuds et aux ventres.

Les maxima sont plus grands pour P_1 que pour P_2

Par approximation, on peut écrire pour le K[e] nœud et le K[e] ventre :

$$N_k = \frac{1 + e^{-\frac{\gamma}{2}}}{1 - e^{-k\gamma}},$$

$$V_k = 1 + e^{-\frac{\gamma}{2}} (1 - e^{-k\gamma}).$$

Plus γ est grand, moins ces deux expressions diffèrent et, par conséquent, plus il est difficile de distinguer les nœuds et les ventres. On peut donc calculer γ d'après le nombre k des nœuds et des ventres observés, quand on connaît la sensibilité de l'indicateur des ondes.

Rôle de l'indicateur. — Les indicateurs consistent pour la plupart en une capacité introduite sur le trajet des fils : la perturbation qui en résulte est négligeable, quand la capacité est aussi faible que celle d'un tube vide, mais ne le serait plus si on employait un électromètre, si délicat qu'il fût.

Vibrations harmoniques supérieures de l'excitateur. — M. Drude pense que ses expériences vérifient la manière de voir de M. Poincaré et de M. Bjerkness, d'après laquelle l'excitateur émettrait une série de vibrations harmoniques.

Cas où la résistance n'est pas négligeable. — Il faut alors faire le calcul comme l'ont indiqué Rayleigh et Stefan ([1]).

On trouve qu'il faut ajouter à x le terme :

$$\tau = \frac{\sqrt{T}}{4\, R \log \frac{d}{R} \sqrt{+\sigma}},$$

où σ représente la conductibilité spécifique, exprimée en unités électromagnétiques. Dans les expériences de M. Drude, $\tau = 0\ 00285$. Les ondes s'amortissent alors dans la propagation et le décrément logarithmique est proportionnel à τ; mais la résistance des fils n'influe pas sur la longueur d'onde : cette influence ne se ferait sentir que si la résistance devenait très élevée.

Propagation des ondes dans des fils partiellement enveloppés de corps conducteurs. — Lorsque les fils dans lesquels se propagent les ondes sont plongés dans un milieu autre que l'air, il faut tenir compte à la fois du pouvoir diélecrique K de ce milieu et de sa conductibilité spécifique σ ; on n'a pas besoin d'avoir égard à la susceptibilité magnétique qui ne diffère jamais sensiblement de 1.

On a alors, pour la force électromotrice due à la charge apparente ε,

$$E_2 = -\frac{\nu}{K}\, 2 \log \frac{d}{R} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z}. \qquad (1)$$

D'autre part, la relation entre i et ε devient :

$$-\frac{\partial i}{\partial z} = \frac{1}{\nu} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + i_e = \frac{1}{\nu} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + 4\pi \frac{\sigma \nu}{K} \varepsilon, \qquad (2)$$

i_e représentant le courant qui se perd par le pourtour du fil, dans la direction des lignes de force.

L'équation différentielle à laquelle doivent satisfaire i et ε devient :

$$\frac{\nu^2}{K} \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial z^2} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + 4\pi\nu^2 \frac{\sigma}{K} \varepsilon \right) + \frac{r}{2 \log \frac{d}{R}} \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + 4\pi\nu^2 \frac{\sigma}{K} \varepsilon \right). \qquad (3)$$

Supposons qu'en un point quelconque du fil arrivent des perturbations de la forme :

$$\varepsilon = A e^{\alpha \frac{t}{T}} = A e^{2\pi(-\gamma + \sqrt{-1}) \frac{t}{T}}.$$

A ces perturbations correspond une intégrale de l'équation (3) :

$$\varepsilon = A_1 e^{\alpha \frac{t}{T} - \alpha' \frac{z}{\lambda} - 2\pi x \frac{z}{\lambda'}} + A_2 e^{\alpha \frac{t}{T} + \alpha \frac{z}{\lambda'} \quad 2\pi x \frac{z}{\lambda'}}. \qquad (4)$$

Dans cette expression, α' est égal à $\alpha + \tau$ (ces lettres ayant la même signification que ci-dessus), x et λ' sont des constantes.

Lorsque $\sigma = 0$, ces constantes ont respectivement pour valeur :

$$x = 0, \qquad \lambda' = \frac{\nu T}{\sqrt{\varepsilon}}.$$

Il suffit naturellement d'étudier les cas où la conductibilité σ' des fils est beaucoup plus grande que celle du milieu ambiant σ, puisque ce sont les seuls où on puisse observer des ondes.

Si l'expression

$$s = \frac{\nu^2 \sigma T}{K},$$

a une valeur telle que son carré soit petit vis-à-vis de 1, on obtient :

$$\lambda' = \frac{\nu T}{\sqrt{K}}, \qquad x = s = \frac{\nu^2 \sigma T}{K}.$$

La conductibilité σ n'a donc pas d'influence sur longueur d'onde, mais x, qui détermine l'amortissement dans l'espace, est proportionnel à σ et à T, inversement proportionnel à K.

Il se présente aussi des cas où s^2 n'est pas négligeable vis-à-vis de 1 ; en tenant compte de ce que γ' est toujours petit, on trouve :

$$x = \frac{2s}{1 + \sqrt{1 + 4s^2}}, \quad \lambda' = \frac{\nu^2 T^2}{K} \frac{2}{1 + \sqrt{1 + 4s^2}}.$$

En remarquant que $\nu T = \lambda$, longueur d'onde dans l'air, on verra que l'indice de réfraction n a pour expression :

$$n = \frac{\lambda}{\lambda'} = \sqrt{K} \sqrt{\frac{1 + \sqrt{1 + 4s^2}}{2}}.$$

Par conséquent, pour différents milieux qui ont le même pouvoir diélectrique K, mais des conductibilités σ inégales, l'indice de réfraction électrique croît avec σ, de même que le coefficient d'absorption, mais plus lentement que la conductibilité elle-même. Le coefficient d'absorption est à peu près proportionnel à la période et pour des milieux de même conductibilité, à peu près en raison inverse de leur pouvoir inducteur.

Réflexion sur un pont. — Le calcul suit la même marche que dans le premier cas, à cela près que les équations sont un peu plus compliquées.

En appelant φ' la perte de phase due à la réflexion, on trouve encore pour le recul du pont

$$\delta b' = \varphi' \frac{\lambda'}{2}.$$

Seulement comme λ' est notablement plus petit que λ (dans le cas de l'eau, par exemple $\lambda = 9\,\lambda'$), il n'est plus permis ici de confondre $2\pi\varphi'$ avec tang $2\pi\varphi'$. La valeur calculée pour $\delta b'$ coïncide bien avec la valeur trouvée par l'expérience.

Le recul du pont est plus petit dans l'eau que dans l'air, et plus petit dans les dissolutions qui conduisent bien que dans l'eau pure.

Il est intéressant aussi de voir ce que devient le coefficient de réflexion. On trouve, par exemple, que dans l'eau ($\lambda' = 8,6$), à une longueur d'onde $\lambda = 75$ cm dans l'air, avec un pont long de 1,8 cm, le coefficient de réflexion est 2/3 environ ; dans les dissolutions qui conduisent bien, il descend au-dessous de 1/2. Les ondes stationnaires sont d'autant moins faciles à observer que la longueur d'onde dans le milieu qui entoure les fils est plus petite : il importe donc de prendre des fils aussi rapprochés que possible, pour que le coefficient de réflexion soit notable.

Réflexion sur la surface de séparation de l'air et d'un liquide. — La surface de séparation est supposée plane et perpendiculaire aux fils. En appelant r le coefficient de réflexion, δ celui de transmission et posant $\zeta = \beta\lambda$ pour la distance du plan réfléchissant à l'origine, on trouve :

$$\frac{\delta}{K} \frac{2 e^{(n\alpha'' - \alpha')\beta}}{n(1 - x\sqrt{-1}) + 1}.$$

$$r_1 = -\frac{n(1 - x\sqrt{-1}) - 1}{n(1 - x\sqrt{-1}) + 1} e^{-2(\alpha + \tau)\beta}.$$

en posant

$$\alpha'' = \alpha + \tau + 2\pi x.$$

Quant aux changements de phase Δ et E, ils ont respectivement pour valeur :

$$\text{tang}\, 2\pi\Delta = + \frac{2nx}{n^2 + n^2x^2 - 1}, \quad \text{tang}\, 2\pi E = + \frac{nx}{n + 1}$$

Il faut remarquer que $\frac{\delta}{K}$ représente *le coefficient de la transmission des ondes de force électrique*.

Si les ondes rencontrent la surface de séparation entre l'air et le liquide, les coefficients de réflexion et de transmission prennent des valeurs différentes r' et δ' :

$$r'_1 = + \frac{n\left(1 - x\sqrt{-1}\right) - 1}{n\left(1 - x\sqrt{-1}\right) + 1} e^{+ 2\alpha''\beta n},$$

$$\delta' K = \frac{2n\left(1 - x\sqrt{-1}\right) e^{(n\alpha'' - \alpha - r)q}}{n\left(1 - x\sqrt{-1}\right) + 1}.$$

Ici encore $\delta' K$ représente le coefficient relatif aux ondes de force électrique. Les valeurs de ces deux coefficients sont, du reste, indépendantes du sens de propagation des ondes, elles restent les mêmes, que les ondes passent de l'air, dans le liquide ou inversement.

Système présentant un pont dans l'air et une surface limite entre l'air et un liquide. — Dans ce cas, les ondes se réfléchissent alternativement sur le pont et sur la surface de séparation des deux milieux; les ondes successivement réfléchies se superposent et on peut calculer leur résultante comme on l'a fait plus haut. Les formules trouvées (24) et (25), sont d'ailleurs applicables, en remplaçant le facteur r par le facteur r_1. Les valeurs réelles positives de $r_1 r$, répondent à des nœuds, les valeurs réelles négatives, à des ventres. La perte de phase Δ, qui peut être déterminée expérimentalement, d'après le recul du pont, est toujours très petite quand le pouvoir inducteur du liquide K est grand.

Système présentant un pont dans l'air et un pont dans l'eau. — Ce système est le plus important, car c'est celui qui est réalisé dans les expériences où on mesure l'indice de réfraction et le coefficient d'absorption. Le calcul est plus compliqué puisqu'il se produit trois réflexions; mais, en réalité, les ondes qui ont traversé quatre fois le liquide n'ont plus d'amplitude appréciable. Théoriquement, les résultats sont le plus simples quand la surface de séparation se trouve être un nœud du système défini dans le paragraphe précédent; il est avantageux aussi en pratique de réaliser cette condition, car on obtient alors directement la longueur d'onde dans le liquide. La position des nœuds dans le liquide dépend aussi de la perte de phase par réflexion et par conséquent du coefficient d'absorption x du liquide. Si on calcule la position du premier nœud à l'intérieur des solutions salines, en admettant que leur pouvoir inducteur est constamment égal à celui de l'eau pure, les résultats ne sont pas en contradiction avec l'expérience, mais ce n'est pas une preuve certaine que l'hypothèse soit exacte.

Pour décider la question, il faut déterminer les positions du premier nœud et du premier ventre dans le liquide et lorsque la concentration augmente, x augmente aussi, et par suite Δ: les formules deviennent trop compliquées pour permettre d'en déduire la position exacte du premier ventre. Lorsqu'on mesure le coefficient d'absorption des dissolutions différemment concentrées, on trouve que le coefficient dépend effectivement de la conductibilité et par conséquent, les solutions aqueuses ne présentent pas de dispersion pour les ondes employées.

Le milieu entourant les fils possède une dispersion et une absorption anormale. — L'équation qui représente l'onde a la même forme que ci-dessus [éq. (4)], seulement λ' et x ne peuvent plus être calculés d'après les propriétés du corps, pouvoir inducteur et conductibilité relatives aux oscillations lentes ; ces constantes ne peuvent être que déterminées par l'expérience. La longueur d'onde λ' se mesure en déplaçant un pont dans l'intérieur du liquide : quant au coefficient d'absorption x, le plus simple pour le déterminer est de comparer le liquide étudié à un autre dont le coefficient est connu. On ne peut du reste conclure que deux liquides ont le même coefficient d'absorption que si

leurs indices de réfraction sont très voisins l'un de l'autre : autrement les coefficients de réflexion et de transmission seraient différents et la comparaison n'aurait plus de sens.

D'autre part toutes les formules relatives aux corps normaux s'appliquent aux corps anormaux, quand on y remplace le pouvoir inducteur et la conductibilité par l'indice de réfraction et le coefficient d'absorption.

Le coefficient x de la glycérine décroît rapidement quand la période croît, à l'inverse de ce qui se passe dans les liquides normaux.

Voici la valeur de x pour quelques liquides :

Liquide.	x	T
Glycérine	0,50	25.10^{-10} sec.
	0,25	70 »
Alcool amylique .	0,51	25 »
Alcool éthylique .	0,21	25 »
Acide acétique . .	0,23	25 »

M. L.

Les spectres de l'argon ;

Par J. TROWBRIDGE et Th.-W. RICHARDS [1].

On sait que l'argon présente, suivant les cas, deux spectres, le rouge et le bleu, ainsi désignés par suite de la prédominance, dans l'un ou l'autre des raies de chacune de ces couleurs. A l'aide d'une batterie de 5 000 accumulateurs Planté, qui fournit un courant très constant et peut-être chargée par une dynamo de 60 volts, les auteurs ont étudié dans quelles conditions précises on obtient l'un ou l'autre de ces spectres.

Les expériences ont porté principalement sur un tube, fourni par lord Rayleigh, qui avait 15 cm de long et une partie capillaire d'assez grand diamètre ; la pression du gaz était de 1 mm. En fermant la batterie sur ce tube et une résistance de plusieurs méghoms, on obtient une décharge rouge dès que la force électromotrice utilisée atteint 2 000 volts ; on peut continuer ensuite avec une force électromotrice moins élevée ; la différence de potentiel aux bornes du tube peut descendre jusqu'à 630 volts. M. Crookes avait trouvé que 27 600 volts sont nécessaires pour produire le spectre rouge.

L'introduction d'une capacité en dérivation sur le tube ne change pas l'aspect de la décharge ; mais si l'on interrompt le circuit par une distance explosive, le condensateur fait entendre un bruissement caractéristique et la lueur bleue apparaît dans le tube. L'examen par le miroir tournant montre que la décharge est discontinue, le condensateur se déchargeant chaque fois que la différence de potentiel entre ses armatures a atteint une valeur déterminée ; ces phénomènes s'observent avec une batterie de 2 000 volts.

L'introduction d'une self-induction, même très faible (0,015 henry), entre l'une des armatures du condensateur et le tube fait reparaître la lueur bleue ; il en est de même de l'adjonction d'une résistance. D'ailleurs la résistance du tube seul peut être assez grande pour qu'il ne se produise jamais que la lueur rouge.

M. Kayser a trouvé qu'il était plus facile d'obtenir le spectre bleu que le spectre rouge à l'état de pureté ; les auteurs attribuent le fait à ce que le condensateur du primaire de la bobine dont se servait M. Kayser donne naissance, en se déchargeant, à un courant alternatif dont la période aurait été la même que celle du circuit secondaire. Ils ont constaté qu'avec une bobine sans condensateur primaire, on a toujours la lueur rouge pure. Si on introduit le condensateur, le miroir tournant révèle l'existence des deux décharges, pour une valeur convenable de la self-induction du primaire. La décharge directe se produirait dans les cas où le défaut de contact a laissé le condensateur en dehors du circuit ; la décharge alternative prendrait naissance dans le circuit primaire et serait amplifiée par la résonance du secondaire.

La lueur bleue s'obtient quand on envoie dans le tube des courants de très grande in

---

[1] *Philosophical Magazine*, t. XLIII, p. 77, février 1897.

tensité et de très courte durée. Il reste à savoir si, dans ce cas, la capacité de la décharge, dont le circuit ne renferme plus de résistance, ne serait pas suffisante pour donner naissance à des oscillations.

En produisant des décharges directes ou oscillantes à l'aide d'une machine électrostatique, on observe encore dans le premier cas la lueur rouge et dans l'autre la lueur bleue. En présence d'un oscillateur de Hertz, dont la fréquence est de 115 000 000 environ par seconde, la lueur bleue apparaît. L'extrême sensibilité des tubes d'argon pour les décharges oscillantes fait espérer qu'ils pourront rendre de grands services dans l'étude des mouvements électriques périodiques. C. R.

Les spectres multiples des gaz ;

Par J. Trowbridge et Th.-W. Richards [1].

Les auteurs étendent à différents gaz l'étude qu'ils avaient faite des spectres de l'argon (voir le mémoire précédent).

La décharge continue dans l'azote sous diverses pressions donne naissance au spectre cannelé ; la lueur est rose. Elle tend vers le violet, puis vers le bleu quand on fait jaillir une étincelle dans le circuit ; le spectroscope montre en même temps la disparition des bandes du rouge. Le spectre de lignes apparaît dès qu'on introduit un condensateur, pour faire place de nouveau à un spectre cannelé, quand on amortit les oscillations ; ces dernières conditions semblent être celles dans lesquelles on se trouve placé d'ordinaire quand on emploie une bobine de Ruhmkorff.

L'hydrogène, soumis à une décharge continue, à des pressions comprises entre 0,05 et 3 mm, donne un spectre qui contient les quatre raies principales et une multitude d'autres raies fines et serrées. Celles-ci disparaissent quand on introduit un condensateur ; la raie rouge reste fine ; la raie $H\beta$, dans le bleu-vert, s'estompe. Quand la pression s'écarte notablement de 1 mm, les raies secondaires réapparaissent progressivement, à mesure que l'amortissement des oscillations s'accroît.

Les halogènes donnent également deux spectres. L'apparence d'un tube d'hélium varie avec la nature de la décharge, mais les raies caractéristiques ne changent pas.

C. R.

(1) *Philosophical Magazine*, t. XLIII, p. 135, février 1897.

BIBLIOGRAPHIE

Entwicklung, Bau und Betrieb der Elektrischen Oefen. (Développement, construction et fonctionnement des fours électriques), par W. Borchers. 1 volume de 64 pages avec 42 figures dans le texte et des tableaux. *W. Knapp*, éditeur à Halle, à S.

Dans ce petit livre, M. Borchers suppose connu le maniement des machines ; il prend le courant à l'entrée du four électrique et ne s'occupe que de la description des divers modèles et de leur fonctionnement.

Dans une courte et claire introduction il signale les nombreux avantages du nouveau procédé de chauffage. « Aucune autre source de chaleur ne permet d'atteindre de pareilles températures, aucune ne donne la possibilité de concentrer d'aussi grandes quantités de chaleur en des espaces aussi restreints ; nulle méthode de chauffage ne nous rend aussi indépendants des matériaux des fours, des gaz de la flamme et de toutes les autres causes d'infériorité de nos foyers actuels. Il nous est loisible maintenant de construire nos fours avec les matériaux mêmes que nous voulons fondre, griller, ou transformer d'une façon quelconque ; nous pouvons travailler dans telle atmosphère que nous désirons et aborder en un mot tous les problèmes que soulève la chimie si intéressante des hautes températures. »

Les fours électriques sont divisés en deux grandes classes suivant que le chauffage a lieu par le simple effet Joule d'une résistance matérielle, ou bien par l'emploi de l'arc.

Chacune des classes comporte deux subdivisions :

I. Chauffage par simple résistance :

a) La substance à chauffer compose elle-même la résistance ;

b) La substance à chauffer est en contact avec une résistance étrangère.

II. Chauffage par l'arc:

a) La substance à chauffer constitue l'un des pôles de l'arc ou les deux ;

b) La substance est introduite dans l'espace traversé par l'arc.

Grâce à cette classification qui lui sert de fil conducteur, M. Borchers dirige sans effort le lecteur à travers les très nombreux modèles de fours électriques qu'on a construits jusqu'à présent. Le principe étant le même dans chaque cas, on saisit sans peine les diverses modifications qui sont présentées dans l'ordre historique et l'on se rend un compte exact des perfectionnements successifs.

L'auteur fait suivre les deux parties purement descriptives de son ouvrage de considérations générales (p. 26 à 39 ; p. 58 à 64) sur le choix des matériaux, l'emploi des charbons... Il montre qu'il est rationnel de rapporter le courant et l'énergie électrique au *poids* de charbon par unité de longueur, — tout en conservant bien entendu la notion de *densité* dont on se sert d'habitude. Un tableau met en relief cette nouvelle manière de voir.

L'ouvrage se termine par quelques pages sur la formation, l'entretien et la température de l'arc électrique.

P.-Th. Muller.

CHRONIQUE

Utilisation des circuits d'éclairage pour actionner les bobines d'induction. — MM. Norton et Lawrence décrivaient dernièrement dans *The Electrical World* un dispositif à l'aide duquel ils ont pu faire fonctionner une bobine d'induction à l'aide d'un courant de 110 et 220 volts pris sur les circuits d'éclairage.

N'ayant pu trouver un interrupteur convenable pour ces différences de potentiels, les auteurs ont surmonté la difficulté en se servant d'un condensateur de grande capacité qu'un commutateur, actionné par un petit moteur électrique et relié alternativement aux circuits d'éclairage et au primaire de la bobine. Sa fonction est de charger et de décharger le condensateur. Des expériences ont été faites sur une bobine donnant normalement 15 cm d'étincelle ; la capacité d'un condensateur étant de 25 microfarads, la différence de potentiel de 200 volts, l'étincelle de décharge était diffuse et courte et n'atteignait que 5 cm de longueur, mais, en remplaçant le circuit primaire de la bobine par 70 tours de fil d'un plus gros diamètre, on a pu obtenir une étincelle de 15 cm en tous points analogue à celle que l'on obtient dans les conditions ordinaires. Les expérimentateurs ont pu exciter un tube de Crookes et obtenir, après une pose de 20 minutes, une bonne radiographie de la main.

Chauffage des chaudières au charbon pulvérisé. — Dans deux articles publiés par la *Revue industrielle* du 24 avril et du 1er mai ; M. P. Chevillard appelle l'attention des industriels sur les avantages de l'emploi d'un mélange intime d'air et de charbon finement pulvérisé pour le chauffage des chaudières, avantages dont les deux principaux sont une économie sensible et la suppression de la fumée.

Le premier de ces articles est consacré au *système Wegener*, expérimenté à l'usine élévatoire d'eau du quai de Javel par la commission technique instituée en 1894 par la Ville de Paris pour étudier le fonctionnement des appareils fumivores. Dans ce système le charbon, pulvérisé par un broyeur, est versé par sacs de 25 kg dans une trémie installée devant le foyer et dont le fond est constitué par un tamis de 25 mailles au centimètre ; cette trémie est prolongée inférieurement par un tuyau vertical portant à la hauteur du tamis un tuyau horizontal débouchant dans la partie haute du foyer ; l'air aspiré par le tirage naturel se mélange ainsi intimement à la poussière de charbon et entraîne celle-ci dans le foyer ; pour empêcher que le charbon pulvérent se tasse et ne traverse pas le tamis, celui-ci reçoit 150 à 250 secousses par minute au moyen d'un mécanisme à cames entraîné par une petite turbine à air, sorte de ventilateur renversé, placée au bas du tuyau d'aspiration et mise en mouvement par l'air aspiré ; en réglant à l'aide de ressorts la force des chocs on peut modifier la quantité de charbon entraînée en un temps donné ; en fermant plus ou moins la partie inférieure du tuyau d'aspira-

tion on peut faire varier la quantité d'air. Le réglage de l'admission de l'air et du charbon n'a besoin d'être fait que quand on change la nature du charbon employé, ce qui permet à un seul chauffeur de conduire en même temps plusieurs chaudières. Quant à l'allumage il ne présente pas de difficulté ; on chauffe d'abord avec un feu de bois, on introduit ensuite dans le foyer un chiffon imbibé d'huile et l'on met l'appareil en marche.

Récemment des essais de ce système ont été faits à la manufacture d'armes de Berne, essais relatés dans un rapport de M. J.-A. Strupler à la Société suisse des propriétaires d'appareils à vapeur et effectués sur une chaudière de 34,2 m² de chauffe, à foyer intérieur avec quatre tubes Galloway et deux réchauffeurs disposés dans trois carneaux, donnant de la vapeur à une pression moyenne de 7 atmosphères. D'après les chiffres obtenus la production d'une même quantité de vapeur a exigé, en moyenne, durant les quatre jours d'expériences, 18,39 p. 100 plus de charbon avec la grille ordinaire qu'avec le système Wegener. Il en résulte que la dépense de combustible nécessaire pour transformer 10 tonnes d'eau à 0° C en vapeur à 100°, abstraction faite du prix de la mouture, est respectivement de 55,35 fr et 46,78 fr, soit une économie de 15,5 p. 100 en faveur du nouveau système, bien que la puissance calorifique du charbon en poudre, obtenu avec des résidus, ait été trouvée légèrement inférieure à celle du charbon en morceaux brûlé sur la grille ; quant à la dépense d'énergie nécessitée par la mouture du charbon elle est de 1 cheval-heure par 100 à 170 kg de poussière produite, suivant la dureté du charbon employée.

La mesure de la teneur en gaz carbonique, effectuée au moyen d'un économètre Arndt installé aux extrémités des trois carneaux du fourneau, a montré que cette teneur reste sensiblement constante avec le système Wegener tandis qu'elle présente des variations très importantes avec le chauffage par grille, diminuant au moment de la charge du foyer pour remonter ensuite.

Enfin l'absence de fumée a été complète.

Dans le second article M. P. Chevillard décrit le *système Ruhl*. Le charbon en poudre est amené par un élévateur au-dessus des chaudières et un transporteur à vis d'Archimède le répartit aux divers foyers ; au droit de chacun de ceux-ci se trouve une tube vertical pouvant être fermé plus ou moins complètement par un tiroir servant à régler la consommation de charbon ; ce tube se recourbe et se termine par un ajutage aplati au niveau du foyer ; le courant d'air provoqué par le tirage projette le charbon en poudre dans le foyer. L'élévateur et le transporteur sont mus par un petit moteur, généralement un moteur électrique. Les expériences officielles faite, à l'Opéra de Berlin durant l'hiver de 1895-96, sur deux chaudières à deux foyers intérieurs dont l'une était pourvue d'un foyer à grille avec autel système Haag et l'autre d'un appareil Ruhl, font ressortir en faveur du chauffage au poussier de charbon une économie en argent de 22,5 p. 100. M. A. Borsig, de Berlin, qui construit ces appareils, revendique d'ailleurs plusieurs autres avantages, notamment l'indépendance de la régularité de l'alimentation avec la finesse et le degré d'humidité du charbon pulvérisé, et la possibilité de régler l'admission de l'air et la vitesse du courant indépendamment de la quantité de charbon débitée.

L'électricité dans les fermes en Amérique. — Nous avons déjà signalé l'importance que prenait chaque jour en Amérique le nombre des applications de l'électricité aux travaux de l'agriculture. Généralement, l'énergie motrice est fournie par des chutes d'eau, mais nous voyons des pays qui, bien que ne possédant pas cette ressource, cherchent également à profiter des avantages de l'électricité. C'est ainsi que l'*Electrical World* nous apprend qu'une application de ce genre vient d'être faite dans la ferme modèle que possède l'ex-président M. L.-P. Martin, à Ellerslie (N. Y.). Là, dans une petite station située à proximité de la ferme, deux dynamos à courant continu, actionnées par un moteur à vapeur de 35 chevaux, fonctionnent continuellement ; l'une, fournissant du courant à 500 volts, est en permanence sur les circuits se rendant aux divers bâtiments ; l'autre, produit du courant à 110 volts et est spécialement affectée à la charge d'une batterie d'accumulateurs de 67 éléments.

La totalité du courant produit trouve son emploi dans les nombreuses lampes réparties dans les locaux, cours et dépendances de la ferme et aussi dans des moteurs électriques employés à divers usages, notamment à l'actionnement de deux pompes de 10 chevaux chacune, servant à élever l'eau dans un vaste réservoir. En outre des instal-

lations électriques proprement dites, on ne compte pas moins de 250 thermomètres électriques avertisseurs d'incendie, disséminés un peu partout.

On se rendra compte de l'importance de cette ferme en disant qu'une seule de ses étables peut recevoir jusqu'à 300 têtes de bétail.

Influence du courant des tramways électriques sur la boussole. — M. W.-A. Engard vient de publier dans le *Colliery Engineer*, les résultats d'expériences entreprises par le professeur Lenz dans le but de s'assurer si les courants d'une ligne de tramways électriques établie au-dessus des fosses minières exercent une influence quelconque sur l'aiguille aimantée de la boussole dont il est fait un fréquent usage dans les mines. Les expériences en question ont été faites dans la région des charbonnages de la Wesphalie. Dans ce but, M. Lenz a choisi un point situé à une distance horizontale de 100 m environ d'une voie parcourue par un chemin de fer électrique, mais à une profondeur de 426 m. Là, au moyen d'un magnétomètre à fil de quartz, il a exécuté une série d'observations d'après lesquelles il a pu reconnaître que la courbe des variations de jour était très irrégulière, tandis que la nuit elle se présentait sous une forme parfaitement normale et concordait avec le tracé du magnétographe établi à une grande distance de la ligne. Ces résultats prouvent clairement que les indications de la boussole peuvent être faussées par l'influence des courants circulant dans les rails. Il convient donc d'opérer la nuit, alors qu'aucun courant ne passe à la surface du sol, si l'on veut éviter toute erreur de ce genre dans l'emploi de la boussole.

Poursuivant ses recherches, M. Lenz a reconnu que d'autres causes d'erreurs pouvait provenir des lampes ordinaires servant à l'éclairage, ces lampes formant par elles-mêmes un couple thermo-électrique par l'échauffement prolongé des métaux différents dont elles sont pour la plupart constituées. Pour cela, il a placé successivement et une par une, près de l'un des pôles du magnétomètre, six lampes de sûreté, du modèle de celles des surveillants de mines, mais dans la construction desquelles il n'entrait pas de fer. Deux d'entre elles étaient sans action sur l'aiguille, quand elles étaient froides, et toutes, quand elles étaient chauffées, exerçaient une influence qui se traduisait par des déviations variant de 30 à 100 secondes.

Avec une lampe neuve à bougie, la déviation atteignait jusqu'à 5 minutes et progressait même au delà avec le degré d'échauffement. Une autre lampe, en aluminium, déterminait froide ou chaude une même déviation. Dans tous les cas l'effet est plus marqué quand la lampe est placée latéralement par rapport à l'aiguille que quand elle est située dans son prolongement.

D'après les résultats de ces observations, l'auteur conseille donc à tous ceux qui sont appelés à se servir d'une boussole dans l'intérieur d'une mine se trouvant dans le voisinage d'une ligne de tramways électriques, de faire les relèvements la nuit et après une minutieuse vérification des lampes employées pour éclairer la boussole.

Comparaison économique des divers systèmes d'éclairage. — Dans une série d'articles que vient de publier la *Revue industrielle* (10 et 24 avril et 1er mai), M. Ph. Delahaye, l'intéressant chroniqueur de ce journal, compare le prix de revient de l'unité d'éclairage dans les systèmes d'éclairage public et privé les plus usités.

De l'article consacré à l'éclairage par le pétrole nous ne retiendrons que la conclusion : avec le pétrole à 0,60 fr le litre, la carcel-heure revient de 0,9 à 3 centimes suivant le modèle de lampe employé.

Passant ensuite à l'éclairage par le gaz et à celui par l'électricité, l'auteur en établit le prix de revient en s'appuyant sur les résultats consignés dans les comptes rendus officiels de la Compagnie parisienne du gaz, d'une part, et de l'usine municipale d'électricité des Halles, d'autre part. Il montre qu'en 1883 le prix de revient du mètre cube de gaz produit était de 0,1194 fr, et en 1895 de 0,1607 fr, ces prix étant déduits des dépenses nettes de production et de distribution, défalcation faite de toutes recettes accessoires provenant de sous-produits, travaux, locations de compteurs, intérêts de fonds, etc. Du rapport relatif au fonctionnement de l'usine des Halles pendant l'année 1895, il déduit que le prix de revient du kilowatt-heure produit est de 0,4576 fr, en comptant dans les dépenses, comme il a été fait pour le gaz, les charges du capital évalué à 1 300 000 fr et supposé fourni par des obligations à 4 p. 100 remboursables en 75 ans. En tenant compte des pertes dans les canalisations de gaz et d'électricité il résulte de ces chiffres que le prix de revient, en 1895, du mètre cube de gaz vendu était de 0,1681 fr et celui du kilowatt-heure d'électricité de 0,549 fr. Considé-

rant alors les consommations en gaz et en électricité des divers appareils d'éclairage utilisés à Paris et appliquant les prix de revient respectifs ci-dessus. M. Delahaye arrive aux résultats résumés dans le tableau ci-dessous où la première colonne indique le nombre de litres de gaz dépensés par heure, la seconde le pouvoir éclairant en carcels, la troisième la dépense par carcel-heure en litres ou en watts et enfin la quatrième la dépense en centimes par carcel-heure.

Bec Auer.	105 l.	5 carc.	21 l.	0,3530 centimes.
Bec rond (type-Bengel).	105	1 »	105	1,7650 »
Bec papillon de rue.	140	1,1 »	127	2,1358 »
Bec Siemens.	800	20 »	40	0,6724 »
Bec industriel	750	18,1 »	41	0,6892 »
Bec parisien	700	17,1 »	41	
Lampes à incandescence (10 boug.)	»	1 »	35 w.	1,9215 »
» » (16 boug.)	»	1,6 »	35	
Lampes à arc de 10 ampères. . .	»	75 »	6,7	0,3678 »

Il convient de remarquer que, par suite de la manière dont ont été calculés les prix de revient du mètre cube et du kilowatt-heure, ces prix ne comprennent aucune dépense d'entretien des foyers, du renouvellement des lampes, etc., et que s'ils comprennent les charges du capital comptées à 4 p. 100, ils ne comprennent pas l'intérêt, ni les dividendes du capital action. Sous ces réserves, l'auteur conclut donc que le prix de revient de la carcel-heure varie de 0,3530 à 2,1358 avec le gaz et de 0,3678 à 1,9215 avec l'électricité.

La réalisation chimique du vide dans les lampes à incandescence. — A propos de notre chronique sur la *fabrication des lampes Edison dans les ateliers de la General Electric Cy*, publiée dans le numéro du 1er mai, page 284, un de nos lecteurs nous communique les renseignements suivants sur le procédé employé pour faire le vide dans les lampes.

« Connu sous le nom de « procédé Malignani », il ne nous vient nullement d'au delà de l'Atlantique, n'est pas absolument nouveau et n'a été introduit en Amérique par la General Electric Cy qu'après étude faite par le représentant de cette dernière, M. Howell, dans plusieurs des maisons européennes qui l'exploitaient déjà et notamment dans les ateliers de la Société centrale d'Électricité, Usines Pulsford, qui en a le monopole exclusif en France.

» Indépendamment des avantages très réels déjà signalés dans l'article en question, tels qu'une identité constante du vide et une indication optique de celui-ci, il est bon d'ajouter que la tension, bien supérieure à celle du fonctionnement normal, à laquelle se trouve porté le filament dans la fabrication suivant ce procédé, garantit la lampe, avant sa sortie de l'atelier, contre toute exagération analogue en marche, en même temps qu'elle donne au filament une plus grande densité et une surface plus lisse qui en diminuent la facilité de désagrégation et en augmentent les radiations lumineuses par un courant déterminé, d'où meilleure utilisation spécifique de l'énergie et retard considérable dans le noircissement de l'ampoule. »

Nous ajouterons que nous avons déjà signalé à nos lecteurs ce mystérieux procédé Malignani (*L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 602), mais sans pouvoir donner aucun détail. Aussi regrettons-nous que notre correspondant, qui nous paraît bien renseigné, n'ait pas cru devoir nous indiquer la nature du gaz employé pour enlever les dernières traces d'air ; il eût ainsi rendu sans doute quelques services aux nombreux chercheurs qui, à la suite de la découverte de Rœntgen, étudient les décharges électriques dans le vide.

L'éclairage électrique des trains en Suisse. — A courte date, tous les trains des chemins de fer suisses seront éclairés à l'électricité. Déjà, à la fin de 1896, on comptait 525 wagons où cet éclairage fonctionnait et le *Schweiz Bauztg.* annonce que cette application devient presque générale sur les réseaux suisses. Tous les wagons actuellement en construction sont disposés pour recevoir les installations du nouvel éclairage. Tels sont les 65 nouveaux que la Nordostbahn doit prochainement mettre en service. La Compagnie du chemin de fer du Saint-Gothard vient également de décider de remplacer le gaz d'huile par des lampes à incandescence. Les trains des lignes Jura-Neuchâtelbahn, Seethalbahn, Saint-Léger-Chaux-de-Fonds et Lausanne-Echallensbahn sont déjà éclairés à l'électricité.

Le Gérant : C. NAUD.

EVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XI. **Samedi 22 Mai 1897.** **4e Année. — N° 22.**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

LA DÉCIMALISATION
DE L'HEURE ET DE LA CIRCONFÉRENCE

A l'occasion de vœux émis par divers congrès scientifiques et plusieurs sociétés de géographie, M. le Ministre de l'Instruction publique a nommé, le 2 octobre 1896, une commission chargée d'examiner la question de l'extension du système décimal à la mesure de la circonférence et du temps.

Cette commission a déjà tenu plusieurs séances et l'on a pu voir par la diversité des idées émises, par l'inconsistance des votes — conséquence d'une majorité divisée et instable — combien on est loin de pouvoir formuler une solution précise susceptible de réunir ultérieurement une adhésion universelle.

Parmi les décisions votées jusqu'ici, la plus grave est sans contredit l'adoption du système préconisé par M. de Sarrauton qui consiste à subdiviser l'heure, vingt-quatrième partie du jour, prise comme unité de temps, en parties décimales.

Ce résultat n'a pas été obtenu sans de vives oppositions surtout de la part des représentants de la marine et du service géographique de l'armée qui attachent un grand prix à la simplification de leurs calculs les plus usuels : cette réforme ne donne aux premiers qu'une satisfaction incomplète et constitue pour les autres un véritable pas en arrière.

Ces discussions, d'ailleurs fort intéressantes, ne sont qu'un épisode de la lutte à outrance qui se poursuit depuis un siècle entre le système duodécimal et le système décimal. Des trois unités irréductibles de la mécanique, longueur, temps, masse, deux ont déjà été *décimalisées* : l'unité de temps, dernière survivante du système duodécimal, seule a résisté à tous les efforts. Mais le moment approche où elle devra son à tour entrer dans le concert des unités décimales.

En voyant avec quelle facilité relative le système métrique, plus récemment le système C. G. S. et celui des unités électriques, se sont répandus dans le monde civilisé, on est porté à croire que la *décimalisation* du temps ne doit pas rencontrer d'autres difficultés que celles communes à toutes les réformes et ne doit avoir d'autres adversaires que la paresse et la routine.

C'est une erreur : il existe des obstacles sérieux inhérents d'abord à l'état des esprits, ensuite à la nature des opérations scientifiques ou industrielles fondées sur la mesure du temps, qui s'opposent à une solution immédiate, surtout à un compromis entre des systèmes opposés.

Le premier obstacle tient à la nature des choses : le changement d'unité de temps est une *réforme* et toute réforme implique une opposition plus ou moins vive. Quelle est la condition nécessaire pour qu'une réforme

quelconque aboutisse? C'est d'abord qu'elle soit nettement réclamée par l'opinion, qu'elle favorise un groupe considérable, sinon comme nombre, du moins comme importance sociale; enfin qu'elle n'apporte au groupe non intéressé condamné à la subir, que des inconvénients négligeables ou temporaires.

Cette triple condition s'est trouvée remplie, depuis un siècle, dans la réforme et l'unification des mesures de longueur et de masse. Tout le monde souffrait autrefois de la diversité des unités qui changeaient aux frontières des nations, aux limites des provinces et même des communes : les transactions dont l'importance grandissait avec le progrès et la rapidité des transports, offraient de ce chef des difficultés inextricables : c'était la vie sociale elle-même qui était troublée dans le jeu des échanges, par l'incertitude des mesures, l'incohérence des multiples ou des sous-multiples des unités principales. De là, le succès comme réforme universelle, du système métrique, dont les unités cohérentes dans leur dérivation et la simplicité du mécanisme de formation des multiples et des subdivisions ont fini par réunir l'adhésion universelle.

Le système métrique décimal appliqué à la mesure des longueurs et des masses fut donc un véritable soulagement pour l'humanité.

La réforme devait s'étendre à la troisième unité irréductible de la mécanique : à la mesure du temps : Comment se fait-il qu'elle ait échoué, tandis que les deux autres ont réussi? Les promoteurs du nouveau système l'avaient pourtant préparée avec la même logique, avec le même esprit scientifique, peut-être même avec un sentiment encore plus délicat des conditions à remplir; l'unité de temps était le jour [1], période commune à tous les points de notre planète. C'était un choix excellent à tous les points de vue, car les subdivisions du jour forment des unités dérivées fort commodes qui n'auraient guère troublé les usages de la vie ordinaire : le centième de jour représente presque exactement le quart d'heure $\left(\frac{1}{100}\right.$ au lieu de $\frac{1}{96}$ de $\left.\text{jour}\right)$; le millième du jour, une minute et demie; et le cent millième de jour reproduit à peu près la seconde (0, 864 seconde) : c'est même à fort peu près la durée du battement du pouls normal de l'homme (69 à 70 battements par minute sexagésimale) l'unité physiologique naturelle des petits intervalles de temps.

Voilà donc un système établi sur une base scientifique, à la fois très simple et très pratique : pourquoi n'a-t-il pas prévalu? Il n'a pas prévalu parce qu'il n'était réclamé par aucune majorité influente; il n'avait pour lui que la logique : or, en ce monde, pour qu'une réforme logique réussisse, il faut qu'elle s'accorde avec l'intérêt : l'intérêt prime la logique. Les nations civilisées n'offraient aucune divergence dans leur manière de compter le temps : elles s'accordaient à diviser le jour en 24 heures; la réforme proposée ne répondait donc à aucun besoin : l'unification existait de fait.

La subdivision sexagésimale de l'heure en minutes et secondes était, il est vrai, moins simple que la subdivision décimale; mais les esprits étaient encore accoutumés aux opérations duodécimales et cette complexité ne gênait personne. Voilà pourquoi la réforme décimale du temps a échoué, malgré les efforts des promoteurs, malgré l'exemple de savants illustres : On sait, en effet, que Laplace adopta le jour comme unité dans son admirable *Traité de Mécanique céleste*.

Aussi, après plus d'un siècle, l'ancien système de mesure du temps reste-t-il toujours en usage : il offre cependant des inconvénients graves et même des incohérences fâcheuses. Ainsi le jour (la période naturelle) y est divisé d'abord en 24 heures, puis la loi de subdivision change : l'heure se subdivise en soixante minutes, la minute en soixante secondes; enfin, au lieu de se poursuivre logiquement, la loi sexagésimale fait place à

(1) Le jour solaire moyen ou le sidéral, suivant les besoins de la vie civile ou de l'astronomie.

la loi décimale pour la subdivision de la seconde!

Quelles singulières anomalies et comment peut-on s'expliquer qu'un pareil système se soit perpétué si longtemps parmi les hommes de science, champions naturels de la logique et de la simplicité, devant les avantages, aujourd'hui vulgaires, de la division décimale?

A cette question, il y a une première réponse bien simple. Dans toutes les opérations où ce système est acceptable on le conserve : lorsqu'il devient gênant, on le remplace (à l'aide de barêmes ou tables de conversion) par un système décimal approprié ; on choisit dans chaque cas l'unité dérivée la plus favorable à l'expression du résultat cherché. Ainsi, on réduit une durée quelconque exprimée par un nombre d'heures, de minutes ou de secondes, soit en jours et en fraction décimale de jour, soit en heures et fraction décimale d'heure, etc. Dans les Compagnies de chemins de fer, par exemple, beaucoup de calculs relatifs à la marche des trains, réglés par la vitesse à l'heure, se font en divisant l'heure en parties décimales; on réduit ensuite les résultats en minutes pour l'horaire usuel.

Cela constitue pour le calculateur un petit surcroît de travail, mais ce surcroît est en général une fraction insignifiante de celui que comporte l'opération complète.

La seconde réponse est celle-ci : si l'on se décidait à changer le système, il faudrait choisir celui qui satisfait le mieux aux conditions générales de toute réforme, afin que son adoption puisse devenir universelle. Existe-t-il un semblable système réclamé par l'opinion? S'est-il formé, depuis un siècle que le système décimal est en vigueur, un courant d'opinion assez net, un groupe d'intéressés assez compact pour imposer aux indifférents la réforme en question? Rien de semblable n'apparaît, et, sauf quelques manifestations isolées, aucun symptôme général ne se manifeste dans cette voie. Il suffit d'ailleurs de faire le dénombrement de ceux qui ont intérêt à rendre décimales les subdivisions de l'unité de temps pour voir que leur nombre est pour ainsi dire négligeable.

Considérons d'abord la vie ordinaire : dans les usages domestiques, l'unité usuelle, l'heure, n'a nul besoin d'être subdivisée plus loin que le quart, le sixième ou tout au plus le douzième de sa valeur. Voilà donc l'immense majorité du corps social pour qui le cadran de la montre divisé en douze parties suffit amplement : cette majorité est effrayante comme masse à mettre en mouvement, car il faut y comprendre les gens de la campagne dont l'horloge du clocher n'a longtemps porté au cadran que l'aiguille des heures : pas plus que les citadins, ils ne réclament la division décimale du temps. Et ce n'est pas par indifférence pour la précision des mesures que l'homme des champs néglige les minutes quand il compte les heures; car il sait fort bien, quand son intérêt est en jeu, apprécier des fractions délicates; par exemple, discuter le chiffre des centiares dans la vente d'un gros lopin de terre, ou réclamer les centimes dans l'appoint de plusieurs milliers de francs.

La diffusion des voies ferrées, avec leurs horaires fixés à la minute, commence cependant à répandre le besoin d'une plus grande précision : l'aiguille des minutes n'est plus inutile.

Mais c'est à cette limite que s'arrête, dans la vie ordinaire, l'ordre de délicatesse demandée par le public à la subdivision du temps.

Il ne reste donc comme catégorie de personnes réclamant une précision supérieure qu'une minorité, imposante comme valeur intrinsèque, mais infime comme valeur numérique : ce sont les astronomes, les navigateurs, les physiciens, électriciens, mécaniciens et tous les hommes de science dont les spéculations se traduisent par des calculs de précision.

La division décimale du temps logique et complète leur serait éminemment favorable : elle leur épargnerait ces conversions nécessaires pour traduire en unités usuelles les résultats de leurs calculs; en outre, elle sup-

primerait les chances d'erreur inhérentes à ces opérations auxiliaires.

Pour eux, la vraie réforme serait l'adoption du jour comme unité, mais ils ne peuvent pas l'imposer actuellement : il est inutile de recommencer l'expérience tentée au commencement du siècle : les difficultés demeurent les mêmes, le même échec l'attendrait.

Les promoteurs actuels de la réforme décimale, pour la mesure du temps, ont pensé trouver un moyen terme entre le système ancien et leurs aspirations légitimes : la division décimale de l'heure prise comme unité de temps et adoptée par la commission ministérielle leur paraît une solution mixte qui concilie tous les intérêts.

Il est facile de montrer que cette conciliation n'est qu'apparente, qu'elle ne satisfait que des besoins très particuliers et que le système précité, s'il était proposé sérieusement à l'examen des véritables intéressés, rencontrerait des obstacles insurmontables.

Ces obstacles sont de nature diverse : les uns résident dans l'application immédiate du système, les autres dans les conséquences plus ou moins directes du changement de l'unité de temps.

Examinons d'abord les conséquences immédiates de la subdivision décimale de l'heure relativement au mode d'observation pour les déterminations précises du temps.

Les fractions décimales à considérer seraient les suivantes :

Le centième d'heure, qui vaut 36 secondes sexagésimales ;

Le millième d'heure, qui vaut 3,6 secondes sexagésimales ;

Le dix-millième d'heure, qui vaut 0,36 de seconde sexagésimale.

Le balancier de l'horloge astronomique devrait battre le millième ou le dix-millième d'heure : or, le millième (3,6 secondes) est un intervalle trop grand, l'oreille estimerait fort mal les fractions de cette durée ; le dix-millième (0,36) est trop petit, l'observateur n'aurait pas le temps matériel de compter, même mentalement, le numéro d'ordre des battements.

Voilà déjà des difficultés imprévues, fatales à la précision des mesures et capables de rebuter les observateurs soigneux.

Il n'est pas inutile de remarquer à ce propos que si la pratique a consacré l'usage de la seconde sexagésimale, c'est que cette durée représente une sorte de constante physiologique appropriée à la durée de nos impressions de l'ouïe et de la vue.

L'estime du temps, à l'oreille, chez les observateurs exercés, est de l'ordre du $\frac{1}{10}$ de seconde ; la durée de la persistance des impressions rétiniennes est de même ordre. L'intervalle d'une seconde est donc une grandeur privilégiée en harmonie avec l'organisme humain : on ne peut point s'en écarter beaucoup sans perdre cette précision qui donne aux mesures du temps une valeur si considérable.

Il résulte de cette analyse que les astronomes, les navigateurs et les physiciens qui sont certainement les plus intéressés aussi bien à la division décimale du temps qu'à la précision des mesures n'ont pas d'intérêt à adopter l'heure comme unité par cette considération physiologique qu'aucun sous-multiple décimal ne leur serait d'un usage commode. Et comme d'autre part l'adoption de l'heure comme unité introduirait dans les calculs le facteur compliqué 24 pour passer à l'unité naturelle, le jour, leur conclusion définitive serait le rejet du système.

Nous avons dit plus haut que ce système ne donnait satisfaction qu'à des besoins particuliers ; il est juste d'en citer quelques exemples.

Ce sont les opérations où la précision est médiocre et ne dépasse pas l'ordre de grandeur de la minute sexagésimale ; ainsi la cartographie serait simplifiée si les longitudes étaient représentées en heures et fraction décimale de l'heure, les calculs relatifs à la marche des trains, ainsi qu'on l'a vu plus haut, bénéficieraient aussi certainement de

cette subdivision. C'est ce qui explique les vœux de plusieurs Sociétés de Géographie et la pleine adhésion des Compagnies de Chemins de fer, à la décimalisation de l'heure.

Mais cette satisfaction donnée à des intérêts si particuliers par cette solution mixte peut-elle être mise en balance avec les graves inconvénients indiqués ci-dessus et avec ceux que nous allons décrire ? Passons en effet maintenant à l'examen des conséquences de la réforme proposée en ce qui concerne, non plus le mode d'observation, mais les résultats numériques qui dérivent du changement de l'unité de temps : on va voir que la perturbation apportée par cette réforme n'est nullement en rapport avec le faible bénéfice que certains calculs peuvent en tirer.

Tous les coefficients numériques qui dépendent de l'unité du temps seraient modifiés, car ils devraient être multipliés par un facteur complexe représentant le rapport de l'unité nouvelle à l'unité ancienne élevé à la puissance définie par la *dimension* suivant laquelle le temps entre dans le coefficient considéré. Tous les nombres auxquels on est accoutumé depuis l'introduction du système métrique seraient altérés ; ainsi les vitesses par seconde, les accélérations (comme la gravité) seraient, du fait de la substitution du dix-millième d'heure (0,36 seconde) à la seconde sexagésimale, multipliées respectivement par

$$0{,}36 \qquad 0{,}36^2 = 0{,}1296.$$

Non seulement les données scientifiques, mais les coefficients employés dans les arts mécaniques, dans les calculs des ingénieurs, pour lesquels l'unité est la seconde ou la minute, devraient être modifiés ; ce serait la révision forcée de toutes les tables industrielles, de tous les aide-mémoires, en un mot une véritable perturbation industrielle.

Mais ceux qui auraient le plus à souffrir du changement d'unité ce seraient sans contredit les électriciens : toutes les unités électriques du système CGS seraient bouleversées, car l'unité de temps figure dans leur expression suivant des exposants variés, ainsi que le rappelle le tableau bien connu que nous reproduisons ici :

	DIMENSIONS DANS LE SYSTÈME		RAPPORT
	Électrostatique.	Électro-magnétique.	Dimensions en É. S. / Dimensions en É. M.
Quantité . .	$M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} T^{-1}$	$M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}}$	LT^{-1}
Intensité . .	$M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} T^{-2}$	$M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	LT^{-1}
Capacité . .	L	$L^{-1} T^2$	$L^2 T^{-2}$
Potentiel. .	$M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	$M^{\frac{1}{3}} L^{\frac{3}{2}} T^{-2}$	$L^{-1} T$
Résistance .	$L^{-1} T$	LT^{-1}	$L^{-2} T^2$

A toutes les unités (sauf à l'unité électrostatique de capacité et à l'unité électromagnétique de quantité) il faudrait appliquer l'une des puissances 1, − 1, − 2, 2 du facteur 0,36, car la seconde sexagésimale est l'unité de temps dans le système CGS.

Ces perturbations sont fâcheuses, pourrait-on dire, mais elles sont la conséquence nécessaire de toute réforme ; ce sont les inconvénients inhérents à tout état transitoire : une ou deux générations auront à en souffrir : mais quand le nouvel état de choses sera établi le souvenir même de ces inconvénients aura disparu.

Cette consolation serait acceptable si le réforme était un progrès réel, si la nouvelle unité de temps devait être définitive : mais on a vu quelle n'est qu'un simple expédient sans aucune base scientifique, un compromis qui ne donnera satisfaction qu'à des besoins très particuliers : on est donc loin de pouvoir envisager la réforme comme un sacrifice pénible pour le présent, mais profitable aux générations futures.

Dans ces conditions, en présence de la diffusion toujours croissante de la science électrique et de ses applications, en présence des avantages si précieux que le système CGS a apportés dans toutes les branches de la philosophie naturelle, il est évident que les électriciens, chaque jour plus nombreux, doivent comme les physiciens et les mécani-

ciens opposer la plus grande résistance à la réforme proposée : elle ne leur apporterait aucun bénéfice appréciable ; elle ne ferait que jeter la confusion dans un domaine où l'entente universelle a été si rapide et si profitable à l'œuvre commune.

On a déjà prévu cette objection et on a dit : « Mais il n'est pas nécessaire de changer la définition théorique des unités électriques : les électriciens garderont leurs étalons de mesure, tout en adoptant la subdivision décimale de l'heure dans une foule de déterminations ; ils le font d'ailleurs en mainte occasion puisqu'ils se servent couramment d'ampères-heures, de watts-heures, etc... »

Parler ainsi c'est conseiller la multiplicité des unités, la confusion dans les principes ; c'est marcher au rebours de tout ce grand mouvement si fructueux d'unification qui sera l'honneur et la récompense des physiciens de notre époque.

Tel est l'état de la question en ce qui concerne les chances d'adoption de l'heure décimalisée comme unité de temps. La réforme corrélative de la division de la circonférence en 240 degrés, conséquence logique de la précédente, est encore plus critiquable puisqu'elle tend à augmenter la confusion en ajoutant un nouveau système pour la mesure des angles aux deux qui existent déjà.

La commission ministérielle a vu le péril et a reculé devant cette innovation dangereuse : elle s'est bornée à recommander la division de la circonférence en 400 grades. Cette décision enlève, comme on le voit, beaucoup d'importance à celle qui concerne l'unité de temps puisque la corrélation nécessaire des deux mesures se trouve abolie.

En résumé, la seule solution à la fois simple et scientifique d'une division décimale, c'est le choix du jour et celui de la circonférence comme unités, car ce sont là les vraies *périodes*.

Le rôle des hommes de science doit être d'en préparer l'avènement non pas par des compromis, mais par l'adoption progressive de ce double système dans le domaine où ils sont maîtres des conventions (1). La réforme est en bonne voie en ce qui touche la circonférence, car beaucoup d'instituts géodésiques à l'exemple du service géographique de l'armée française ont adopté la division en 400 grades. Celle qui concerne le temps est plus difficile à diriger à cause de la nécessité de traduire en unités usuelles les résultats des calculs. On doit donc rendre hommage aux efforts tentés dans ce but, en particulier à ceux de la Société de Géographie de Toulouse, qui, sous l'impulsion de M. Rey-Pailhade recommande franchement la division décimale du jour. Mais ce qu'il faut éviter avant tout, c'est de faire miroiter aux yeux de l'opinion incompétente des solutions, dites transitoires, qui n'ont aucune chance de devenir universelles : ces systèmes incomplets, tout en pouvant satisfaire certaines exigences, sont condamnés d'avance à un échec car ils augmentent la confusion des idées et les difficultés de calculs que leurs promoteurs ont le louable désir de faire disparaître.

A. CORNU
Membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes.

LA DISTRIBUTION
D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE
DE RHEINFELDEN

L'installation de Rheinfelden, quoique n'ayant pas une importance supérieure à celle de Lyon, que j'ai précédemment décrite (2), présente néanmoins quelques particularités qu'il m'a paru intéressant de

(1) On voit que si les promoteurs du système C. G. S. avaient adopté pour unité le cent millième de jour (0,864 secondes) au lieu de la seconde sexagésimale, les unités n'auraient pas été très différentes comme grandeur de ce qu'elles sont actuellement et un grand pas aurait été fait dans la voie de l'unification décimale.

(2) Voir *l'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 193, 2 mai 1896 ; t. VII, p. 241 et 296, 8 août et 15 août 1896.

signaler. Une description détaillée de cette installation ne saurait d'ailleurs, malgré la similitude du sujet, faire double emploi avec l'article précité ; les conditions du problème sont en effet, comme on le verra, assez différentes et, de plus, le matériel n'étant pas fourni par les mêmes constructeurs, les solutions adoptées procèdent souvent de considérations assez divergentes.

J'ai utilisé pour cette étude les renseignements qui m'ont été obligeamment fournis par la Société des ateliers d'Oerlikon, qui a été chargée d'une partie de la construction : j'ai également puisé dans l'ouvrage qu'a publié l'*Allgemeinen Electricitæts Gesellschaft* (*Die Kraftubertragungs-Werke Rheinfelden*).

Rheinfelden se trouve situé, entre Bâle et Säckingen-Stein à la frontière suisse-allemande ; la station centrale elle-même est installée en territoire allemand. Cette région, remarquablement bien desservie par de nombreuses lignes de chemin de fer, ainsi que par voie fluviale, se trouve dans d'excellentes conditions pour le développement de l'industrie. Aussi a-t-on dû prévoir l'extension du réseau de distribution dans un rayon de 20 km, par la vallée de la Wiese jusqu'à Zell, par la vallée de la Birs jusqu'à Grellingen, et par celle de l'Erzolz jusqu'à Gelterkinden.

La puissance totale disponible à Rheinfelden est de 16 000 chevaux. La moitié de cette puissance est réservée à la Société de l'aluminium, de Neuhausen, et aux usines Bitterfeld (carbure de calcium). On compte d'autre part que le service de l'éclairage exigera environ la moitié de la puissance affectée au service des moteurs.

On avait, tout d'abord, projeté d'adopter d'une façon générale le système triphasé aussi bien pour la distribution d'énergie et pour l'éclairage que pour les applications spéciales à l'électrochimie; des transformateurs tournants devaient, dans cette hypothèse, transformer sur place le courant triphasé en courant continu pour l'alimentation des cuves électrolytiques. Mais, tout récemment la Société de l'aluminium, de Neuhausen, et les usines Bitterfeld ont décidé de demander directement à la station

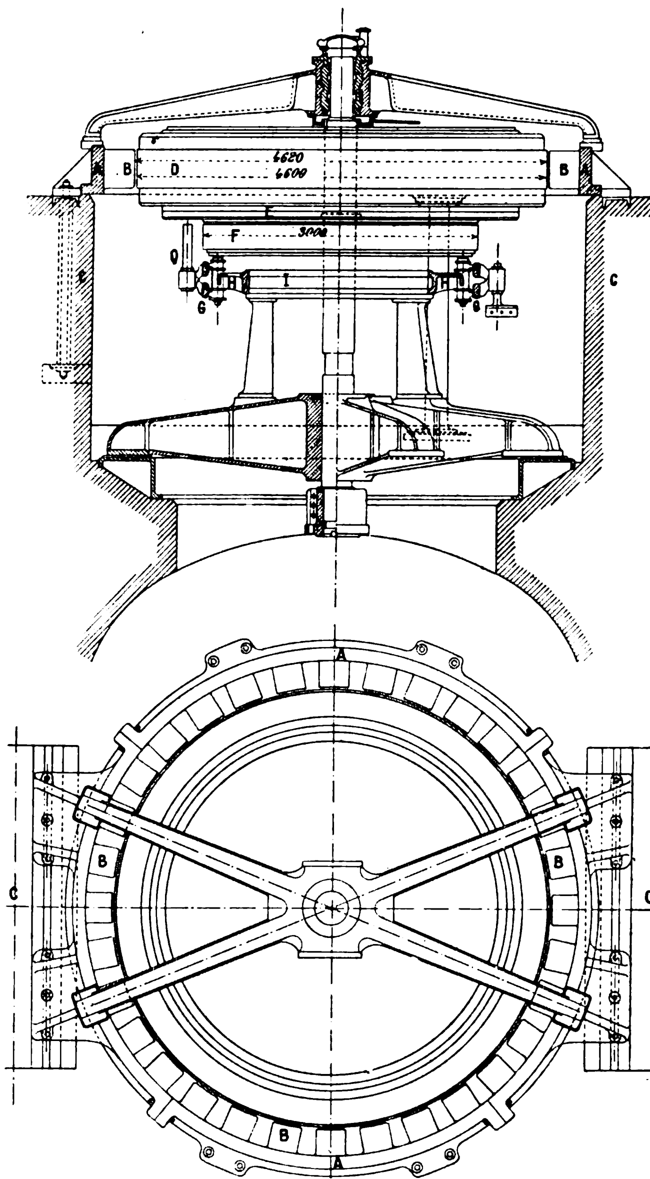


Fig. 1 et 2. — Coupe verticale et vue en plan des dynamos à courant continu destinées à l'électrochimie.

centrale le courant nécessaire à leur industrie.

On a donc dû prévoir un groupe de générateurs réservé exclusivement à l'électrochimie : ce groupe comporte 6 machines à courant continu (électrolyse) et 4 alternateurs triphasés spécialement construits pour l'alimentation des fours électriques.

La puissance totale de la station a été fractionnée en 20 unités de 840 chevaux. Tous les générateurs sont accouplés directement aux arbres des turbines. Les premières unités installées tourneront à la vitesse de 58 tours; toutefois, en suite de nouveaux perfectionnements apportés à la construction des turbines, on a jugé bon d'augmenter la vitesse pour les unités complémentaires.

Je décrirai d'abord rapidement la partie de l'installation réservée à l'électrochimie.

Les générateurs à courant continu, seront actionnés par les turbines à 58 tours. La carcasse fixe de ces machines A (fig. 1 et 2) porte intérieurement une série de 32 pôles, B; elle reposera sur des piliers de béton C élevés de 2,80 m au-dessus du sol de la salle des machines; son diamètre extérieur est de 5,75 m; pour la commodité du transport, elle peut être démontée en quatre parties. L'armature est constituée par une couronne en fer doux laminé D de 4,60 m de diamètre, portée par une roue en fonte, calée sur l'arbre de la turbine. Les enroulements induits sont faits de barres de cuivre logées dans des rainures pratiquées à la périphérie de l'anneau ; ces barres sont soudées de chaque côté de l'anneau à de « faux collecteurs E » qui ne servent qu'à faciliter l'exécution des connexions. Le vrai collecteur F est situé en dessous du « faux collecteur » inférieur; il a un diamètre de 3 m.

Les porte-balais G sont montés sur un grand collier en fonte H libre de tourner autour d'un anneau fixe I de 2 m de diamètre : ils comportent 32 tiges métalliques munies, chacune, de 4 balais; l'ensemble peut être facilement déplacé pour le réglage. Le courant est capté en 4 points différents à l'aide de conducteurs lamellés très flexibles. Les dispositions mécaniques générales étant identiques à celles des alternateurs du service normal, seront décrites dans la suite de cette étude.

Le même type de machine est utilisé pour la production du courant triphasé destiné à l'alimentation des fours électriques ; elles portent alors, en place du collecteur, 3 anneaux continus.

La fréquence n'est que de 14 périodes à la seconde, mais elle suffit néanmoins pour l'usage spécial qu'on a en vue.

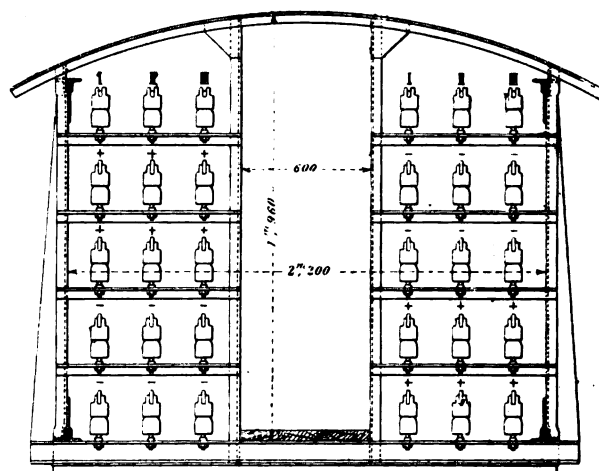


Fig. 3. — Coupe de l'une des passerelles montrant la disposition des conducteurs à courant continu et courant triphasé.

Chacune de ces machines a une puissance de 560 kilowatts (80 volts et 7000 ampères pour le courant continu, et 645 ampères sous 285 volts, par phase, pour le triphasé).

Le courant continu doit être transporté à 200 m.

La ligne se compose de 24 barres rectangulaires en cuivre, présentant chacune une section de 900 mm² (soit 15 mm × 60 mm). La perte en watts dans la ligne atteint, en pleine charge, 5,8 p. 100 de l'énergie totale transmise. Le poids de la ligne est de 38400 kg.

Les courants triphasés, pour les fours, sont transmis à une distance de 320 m. La ligne se compose de 6 barres rectangulaires

de cuivre de 285 mm^2 de section (15 mm × 19 mm). La perte d'énergie est de 4 p. 100, le poids total de cuivre de 4870 kg.

Les deux conduites doivent traverser un canal et une route sur une largeur de 70 m. Cette traversée se fait dans une passerelle couverte (fig. 3). Le milieu de cette passerelle sert de corridor de service ; les conducteurs pour courants triphasés sont placés à la partie supérieure, ceux pour courant continu sont disposés de part et d'autre, tous les conducteurs positifs d'un côté, tous les

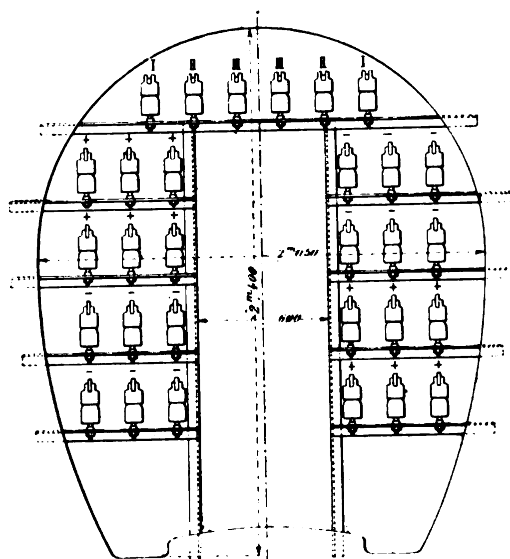


Fig. 4. — Disposition des conducteurs dans les conduites souterraines.

négatifs de l'autre. Dans les parties souterraines, les conducteurs sont disposés comme l'indique la figure 4.

La seconde partie de l'installation devant être affectée à un service général exigeait une étude spéciale pour le choix du système à adopter et pour la détermination des conditions les plus avantageuses, aux multiples points de vue du rendement, de la sécurité, du bon fonctionnement et de l'économie de l'installation.

On a choisi, comme à Lyon, le système triphasé. Ce système présente en effet, lorsqu'il s'agit d'un transport d'énergie à grande distance, des avantages incontestables sur lesquels je me propose de revenir dans un prochain article.

Étant donné le grand développement du réseau (20 km de rayon), on a dû recourir, dans l'installation de Rheinfelden à l'emploi d'une assez haute tension ; le transport s'effectuera sous 16500 volts. Toutefois cette tension ne sera pas fournie directement par les générateurs ; ceux-ci ne donneront que 3900 volts par phase (soit 6800 volts aux bornes).

Les auteurs du projet, pour justifier cette combinaison, admettent comme point de départ que la tension des générateurs ne saurait dépasser le chiffre adopté de 6800 volts ; puis, après avoir déterminé la densité la plus économique (0,9), ils déduisent la tension à adopter pour le transport de la considération des deux courbes donnant en fonction de cette inconnue les prix des transformateurs et accessoires et les prix de la ligne. Ce raisonnement n'est toutefois pas à l'abri de toute critique : tout d'abord je remarquerai que dès qu'une transformation est reconnue nécessaire il y a avantage à en profiter pour choisir une tension directe relativement basse (ce principe a été très rationnellement appliqué à Wynau par la maison Siemens) ; en second lieu, je relève d'après les données fournies dans la publication de l'A. E. G. que l'économie résultant de la transformation ne représente que 22 p. 100 du prix du réseau à 16500 volts ce qui revient à dire qu'en exploitant à 16500 volts avec transformateurs élévateurs, le prix du réseau est égal aux 82 centièmes du prix du réseau exploité directement à 6800 volts. Or, si l'on se contente de l'hypothèse faite sur la constance de la densité on en déduit que le même résultat pouvait être atteint en adoptant une tension directe de 8300 volts ; comme l'hypothèse adoptée ne détermine que la perte en volts totale, il est possible que cette tension eût été insuffisante, mais il est facile de reconnaître qu'en adoptant une tension directe de 11700 volts et en modifiant la densité de façon à conserver le même pourcentage de pertes,

le coût d'établissement du réseau restait le même et que, par contre, le rendement se trouvait très sensiblement élevé. Il est d'autant plus regrettable que cette solution n'ait pas été prise en considération, qu'étant donné la haute expérience des constructeurs il leur eût certainement suffi d'oser pour réussir : le succès n'était-il pas assuré par la réussite d'une récente tentative de M. Dobrowolsky lui-même, qui est parvenu à construire un générateur donnant directement jusqu'à 20 000 volts !

Cet ordre d'idées ne me paraît d'ailleurs pas complètement abandonné, car il a été décidé que l'on utiliserait pour les débuts de l'exploitation la tension directe des générateurs : l'installation des batteries de transformateurs élévateurs a été ajournée à une date ultérieure.

Le projet hydraulique ne comporte pas de turbines spéciales pour les excitatrices. Le courant d'excitation est fourni par trois dynamos de 150 chevaux actionnées par 3 moteurs triphasés qui sont alimentés eux-mêmes directement à 6 800 volts ; une batterie d'accumulateurs sert à la mise en route Cette disposition ne paraît pas très recommandable, car elle rend dans une certaine mesure plus difficile le réglage de la tension ; de plus elle expose les excitatrices à un arrêt brusque, en cas de court-circuit momentané sur la ligne.

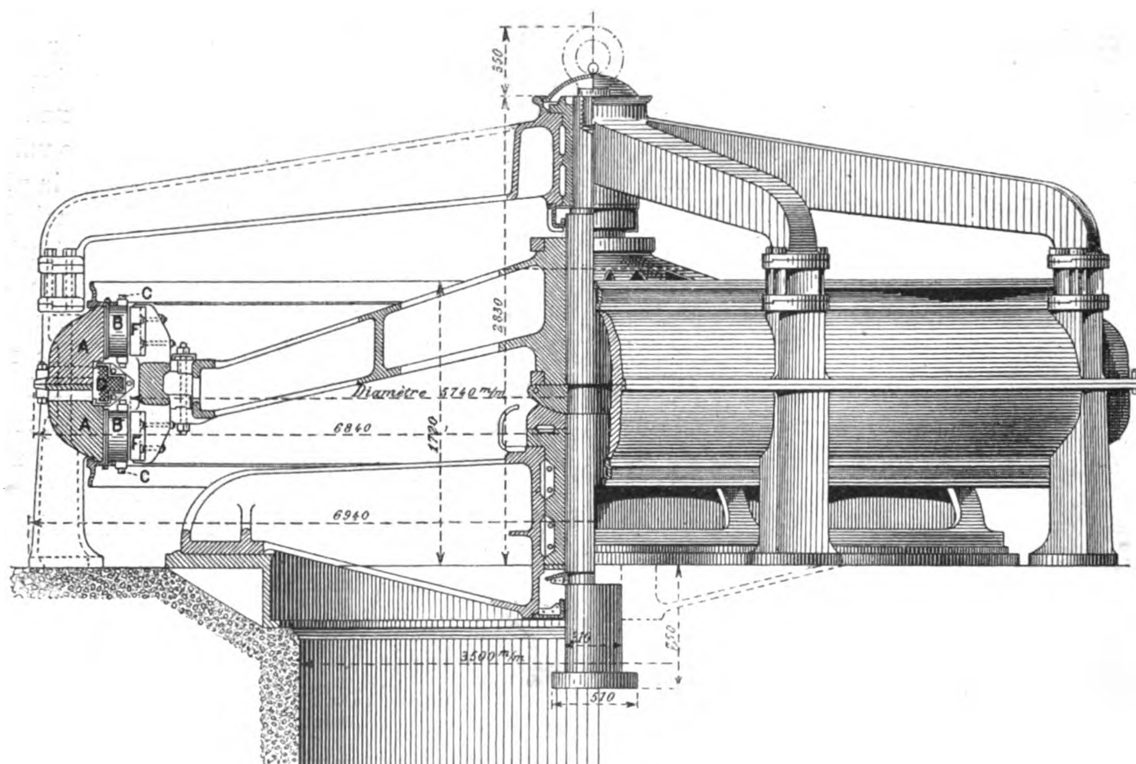


Fig. 5. — Alternateur à courants triphasés.

Les générateurs de Rheinfelden correspondent au type préconisé par les ateliers d'Oerlikon : enroulements, inducteurs et induits fixes, fer tournant. Chaque générateur comporte une carcasse dont la section AA (fig. 5) a approximativement la forme d'un C et qui constitue l'induit. Les deux couronnes B qui forment la partie intérieure de cet induit sont en tôle de fer; elles sont perforées près de leur périphérie interne pour le logement des enroulements C ; ceux-ci sont d'ailleurs isolés de la masse par des tubes en

micanite. Entre les deux couronnes se trouve placée la bobine excitatrice D montée sur une carcasse de bronze. La partie tournante est constituée par un volant dont la couronne,

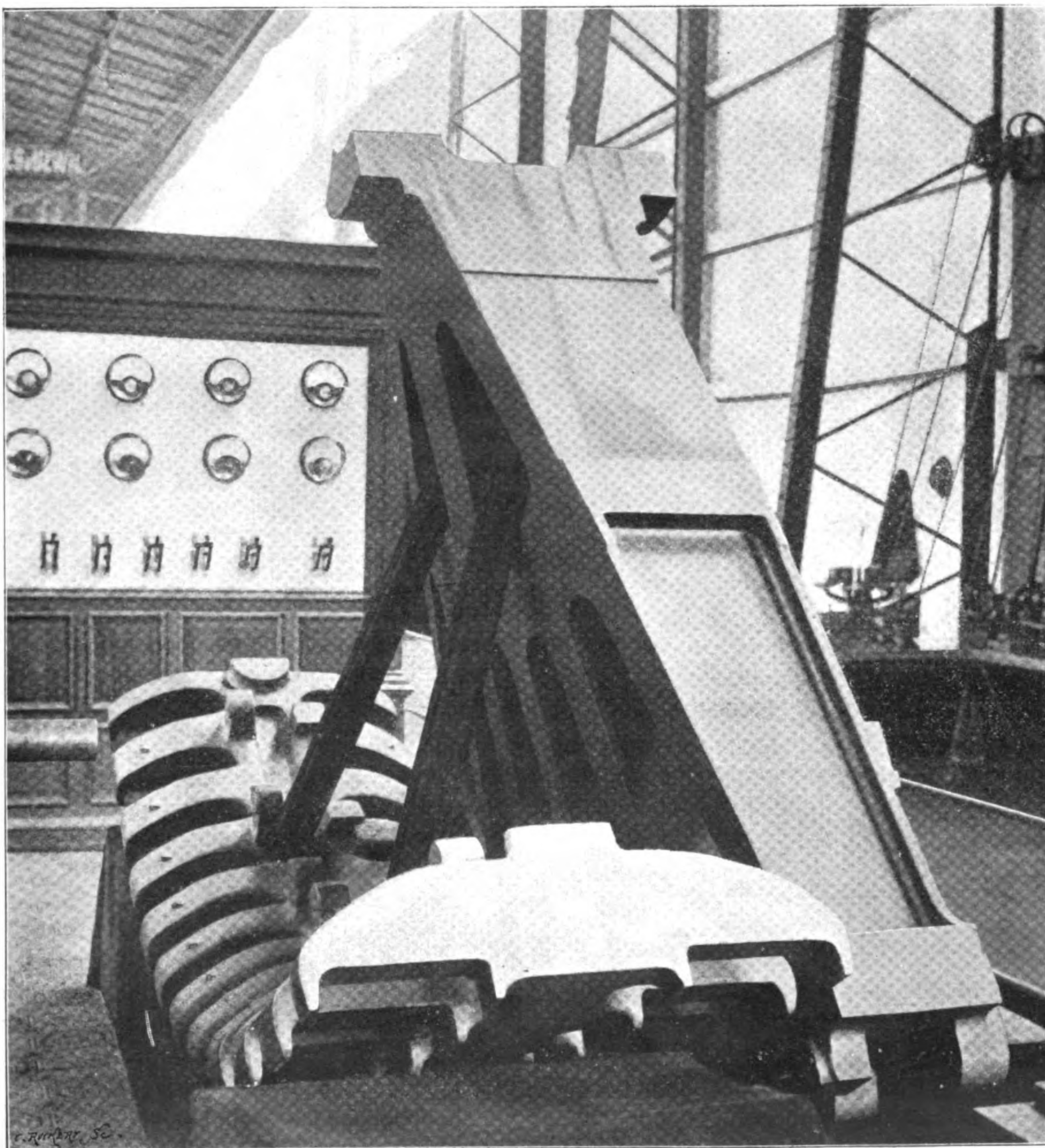


Fig. 6. — Vue d'un secteur du volant et de la couronne d'un alternateur.

d'acier coulé, porte vis-à-vis des deux anneaux induits deux séries de pièces polaires F ; ces pièces sont en tôles et assemblées à queue d'hironde sur une masse pleine fixée à la partie tournante, à l'aide d'une tige filetée qui traverse la couronne d'acier.

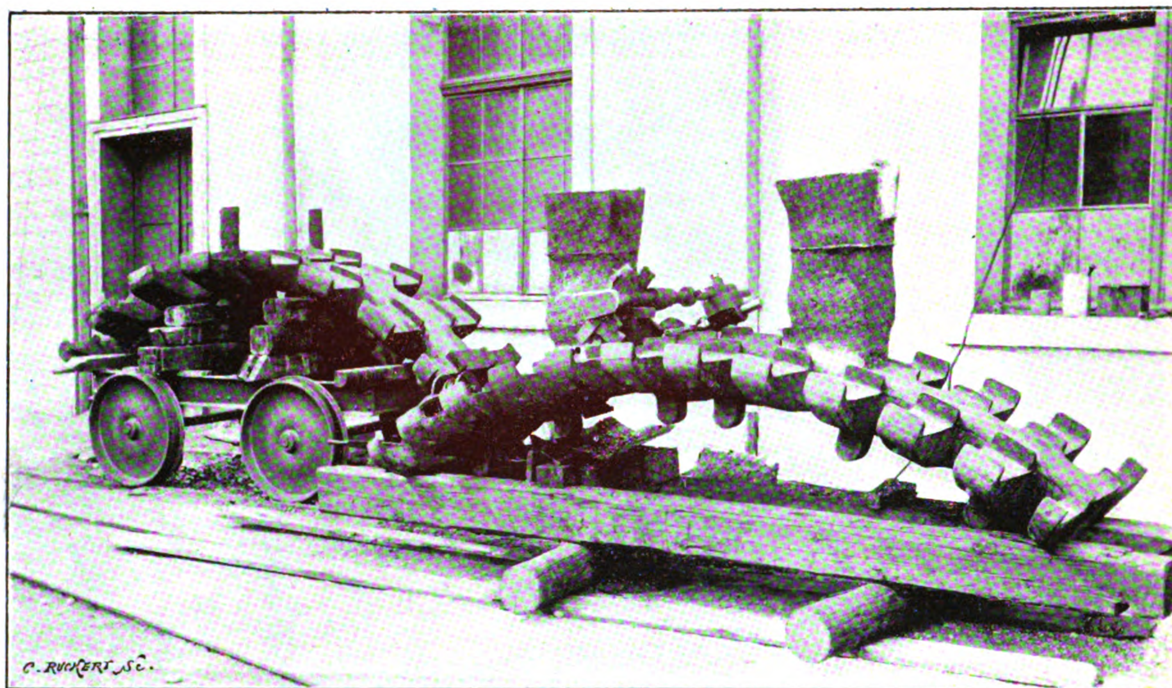


Fig. 7. — Vue d'un secteur de la couronne.

La carcasse d'induit est divisée en huit parties : son diamètre extérieur est de 6,48 m ; elle repose sur le sol de l'usine par huit supports de 0,60 m de haut, scellés dans le

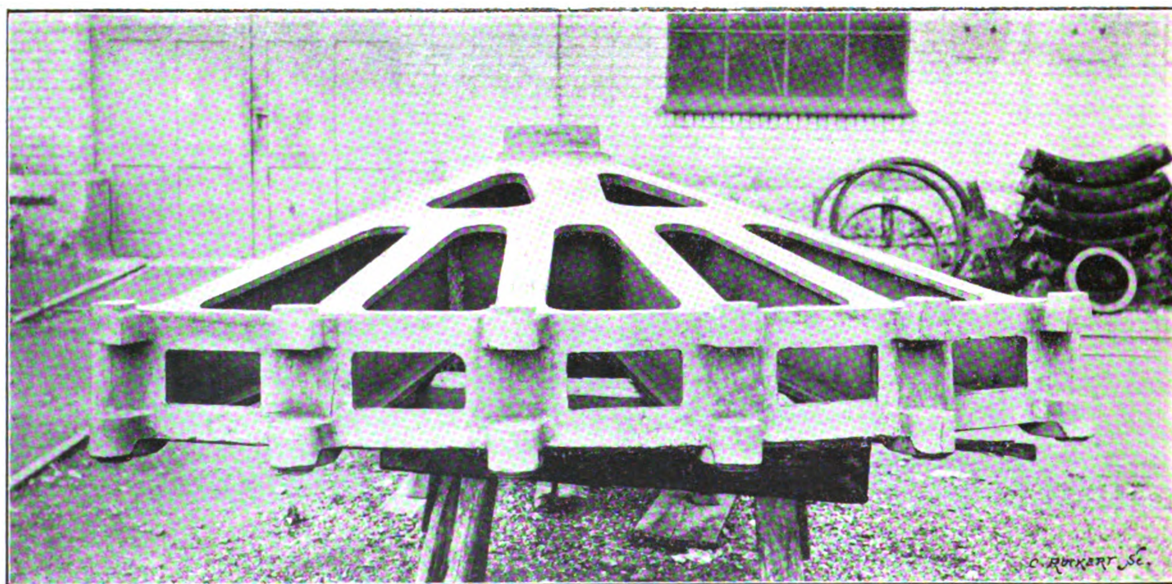


Fig. 8. — Vue d'un secteur du volant.

béton. La partie tournante formée de cinq secteurs (fig. 6, 7 et 8) a un diamètre de 5,74 m ; elle peut être mise en place sans toucher ni à l'induit, ni à la bobine inductrice ; cette der-

nière se trouve logée à l'intérieur de la carcasse en C. Cette partie tournante est située suivant la disposition caractéristique du matériel d'Oerlikon, entre deux paliers dont l'un sert de support, tandis que l'autre ne sert que de guidage. Le palier inférieur, qui sert de support repose directement sur le sol de l'usine ; pour éviter les dérivations magnétiques, on a d'ailleurs interposé entre les pièces d'assemblage du croisillon supérieur et la carcasse d'induit des fourrures en bronze de dimensions appropriées. Le poids des parties mobiles est équilibré par un pivot à huile du genre de celui que j'ai décrit dans l'étude des projets préliminaires de Lyon (¹).

Le poids du récepteur de la turbine est de 35 tonnes ; celui du volant de l'alternateur de 20 tonnes, soit au total 55 tonnes.

On eût pu certainement rendre les machines moins lourdes et moins coûteuses en adoptant un type analogue à celui qui a été choisi à Lyon ; on peut en effet établir (²) que les générateurs dits « unipolaires » conviennent peu pour les faibles vitesses. On comprend toutefois le légitime désir des constructeurs qui ont cherché à appliquer dans ces conditions défavorables le système qu'ils préconisent d'une façon générale.

Chaque induit porte 165 bobines. Chaque phase peut fournir sous 3 900 volts 61,5 ampères. La puissance est donc, pour $\cos\varphi = 1$, $3 \times 3{,}9 \times 61{,}5 = 720$ kilowatts, et, pour $\cos\varphi = 0{,}8$, 580 kilowats. Le rendement garanti est 92 p. 100.

J.-L. Routin,

Ingénieur à la Société Lyonnaise des Forces motrices du Rhône.

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 195, 2 mai 1896.

(²) Voir un récent article de Kando publié dans l'*Elektrotechniche Zeitschrift* et analysé dans *L'Éclairage Électrique* du 24 avril, p. 213.

ÉTUDE DES DÉCHARGES (¹)

CAUSES D'INÉGALITÉ DES POTENTIELS EXPLOSIFS STATIQUE ET DYNAMIQUE

§ III. Différence d'action de la lumière ultra-violette sur les potentiels explosifs statique et dynamique.

Au cours de ses recherches sur la propagation des ondes électriques, Hertz découvrit une action curieuse de la lumière ultra-violette (²) sur les potentiels explosifs.

La distance explosive d'un excitateur augmente quand on éclaire cet excitateur par des radiations ultra-violettes d'une très petite longueur d'onde.

Hertz d'abord, puis MM. Wiedemann et Ebert (³) étudièrent l'influence de la plupart des conditions physiques qui font varier le phénomène. M. Bichat, dans un travail inédit, dont il a bien voulu me communiquer les résultats, a montré que l'abaissement du potentiel explosif est une fonction de la distance explosive qui passe par un maximum puis tend vers o quand on fait varier progressivement la distance explosive à partir de zéro. L'abaissement changerait de signe pour une distance explosive suffisamment grande et des excitateurs convenables (⁴).

La plupart des conditions physiques qui influent sur l'abaissement du potentiel explosif avaient donc été étudiées, *l'influence du mode de charge de l'excitateur était passée inaperçue.*

Dans un travail sur les oscillations électriques (⁵), MM. Wiedemann et Ebert avaient allongé la distance explosive d'un excitateur d'un tiers environ de la valeur primitive, en

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique* du 8 et 15 mai, p. 289 et 337.

(²) *Wied. Ann.*, t. XXXI, p. 983. D'après MM. Elster et Geitel les métaux alcalins et alcalino-terreux sont sensibles à la lumière visible, nous ne nous en servons pas dans cette étude.

(³) *Wied. Ann.*, t. XXXIII, p. 241.

(⁴) Elster et Geitel, *Wied. Ann.*, t. XXXIX, p. 232; Sella et Majorana, *Ac. r. d. Lincei*, t. V, fasc. VIII, p. 323; *Éclairage Électrique*, 2 janvier 1897.

(⁵) *Ueber Electrische Entladungen* (*Wied. Ann.*, 1893, t. XLIX, p. 13).

éclairant l'excitateur avec une lampe à arc dont les rayons étaient concentrés sur les pôles par un condenseur en quartz. Je voulus utiliser cette grande variation de la distance explosive sous l'action de la lumière ultra-violette pour changer, dans de grandes proportions, la distance explosive d'un excitateur sans changer le potentiel explosif. Je fus surpris de n'observer qu'un très faible abaissement de $\frac{1}{100}$ environ du potentiel primitif. En cherchant l'explication de l'énorme différence entre ce résultat et celui de MM. Wiedemann et Ebert mon attention fut bientôt frappée par ce fait que l'excitateur de MM. Wiedemann et Ebert était chargé en un temps très court, tandis que, dans mon expérience, l'excitateur était chargé lentement par une machine de Holtz, dans un intervalle d'une demi-minute environ.

Je fus alors conduit à énoncer la proposition suivante :

L'abaissement du potentiel explosif d'un excitateur éclairé par la lumière ultra-violette est d'autant plus considérable que la charge de cet excitateur est plus rapide; ou, ce qui revient au même :

Sous l'action de la lumière ultra-violette, la distance explosive dynamique d'un excitateur subit un accroissement plus considérable que la distance explosive statique.

La vérification de cette proposition nécessite la détermination de la variation de la distance explosive d'un excitateur chargé : 1° par une méthode statique ; 2° par une méthode dynamique.

L'accroissement ou allongement de distance explosive statique, que j'appellerai *accroissement ou allongement statique*, peut se mesurer indirectement. On mesure à l'aide de l'électromètre absolu de MM. Bichat et Blondlot les potentiels explosifs de l'excitateur éclairé ou non par une source de radiations ultra-violettes et chargé lentement par une machine de Holtz. Dans des limites peu étendues, la variation du potentiel explosif peut être considérée comme proportionnelle à la variation correspondante de distance explosive et on pourra déduire l'accroissement de la distance explosive de l'abaissement du potentiel explosif.

Cette méthode ne donne pas une détermination rigoureuse de cet accroissement, mais il suffit, pour l'usage que nous voulons en faire, d'avoir une valeur approchée.

La méthode des deux excitateurs dérivés permet de mesurer directement les allongements statique et dynamique de la distance explosive d'un excitateur se déchargeant pour un potentiel inconnu mais quelconque. Le potentiel quelconque, mais constant, est le potentiel explosif statique ou dynamique de l'excitateur N dont les pôles maintenus polis, à une distance explosive constante, sont entourés d'écrans opaques pour les radiations ultra-violettes, de sorte que les pôles de N ne sont jamais éclairés par ces radiations.

L'expérience fera connaître la distance explosive de l'excitateur E se déchargeant pour le même potentiel explosif que N : 1° quand l'excitateur E n'est pas éclairé par les radiations ultra-violettes et 2° quand il est éclairé. Suivant que les excitateurs sont chargés par la méthode statique ou dynamique, on mesure ainsi l'accroissement statique ou dynamique de la distance explosive sous l'influence d'une source quelconque de lumière ultra-violette.

Voici quelques expériences établissant la proposition énoncée :

Expériences

Condensateur : jarre d'une capacité 0,005 microfarad. Bobines B_1 et B_2 ensérie.

Excitateur principal I : sphères de 2 cm de diamètre, en laiton, vissées sur un excitateur de M. Mascart.

Excitateurs dérivés E et N : sphères de 1,65 cm de diamètre, en laiton, vissées sur isolant, polies fréquemment et munies d'écrans en paraffine contre la lumière ultra-violette des effluves, aigrettes et étincelle principale. Entre les excitateurs E et

N, on place un écran de verre transparent pour les rayons visibles, mais opaque pour les rayons actifs de la source placée en face de E.

On se sert des sources suivantes : lampe à arc, étincelle principale, effluve. On fait éclater les étincelles toutes les minutes environ.

I. *Lampe à arc.*

a). La lampe à arc est placée dans une lanterne Duboscq, à 50 cm de E ; elle est traversée par un courant de 8 ampères environ. On concentre les rayons sur les pôles de E, au moyen d'un condenseur en quartz.

Charge dynamique, I = 4 mm.

	Distance explosive N en mm.	Distance explosive E en mm.	Excitateur auquel l'étincelle éclate.
E et N non éclairés	2	2	E
»	2	2,2	N
E éclairé.	2	4,4	E
»	2	4,6	N

Accroissement dynamique, 2,4 mm, environ.

Accroissement statique, 0,1 mm, environ, difficile à constater directement ; on le déduit indirectement en mesurant l'abaissement statique.

b). La lampe à arc, traversée par un courant de 8 ampères environ, est placée à une distance de 70 cm de E, à l'intérieur de la lanterne sans condenseur.

L'*accroissement dynamique* égale 1,3 mm environ.

L'*accroissement statique*, égal à 0,06 environ, est inappréciable directement ; on le déduit indirectement de l'abaissement du potentiel explosif.

II. *Effluve et aigrette.*

On prend, comme source de radiations électriquement actives, l'effluve ou l'aigrette qui s'échappe de l'extrémité pointue d'un fil de cuivre en communication avec l'un des pôles d'une machine de Wimshurst, dont l'autre pôle est au sol ; l'effluve jaillit à 5 cm environ de l'excitateur E.

L'accroissement dynamique est plus grand que 2,2 mm.

L'accroissement statique est de 0,1 mm à 0,2 mm, mesuré directement par la même méthode.

Observation. — L'effluve est une source de lumière très variable et les résultats varient d'une expérience à l'autre. Les accroissements rapportés sont des maxima.

III. *Étincelle principale.*

L'excitateur I est placé en face, et à 30 cm de E : on prend, comme source de radiations ultra-violettes, l'étincelle principale qui éclate en I, un peu avant l'étincelle dérivée.

Accroissement dynamique, 3,3 mm.

Accroissement statique $\leqq$ 0,4 mm. Cet accroissement est déduit indirectement de l'abaissement du potentiel explosif statique sous l'influence de l'étincelle principale. Pour mesurer cet abaissement, on charge l'excitateur dérivé E par une deuxième machine et on fait éclater une étincelle à l'excitateur principal I dans le circuit précédemment employé pour la charge dynamique et en conservant les mêmes positions relatives des excitateurs E et I. Il est certain que, de cette manière on observe une limite supérieure de l'abaissement qu'on aurait observé s'il avait été possible d'employer deux sources lumineuses identiques dans les deux expériences.

Une étincelle est une source de lumière très complexe, son intensité varie d'un instant à l'autre et dépend de toutes les quantités qui font varier la forme de la décharge dans un circuit donné.

Il est possible, mais peu probable, que l'action de la lumière ultra-violette de l'étincelle atteigne son maximum à l'instant où l'étincelle éclate à l'excitateur dérivé et, dans ce cas, l'abaissement statique observé est bien l'abaissement correspondant à la source de radiations ultra-violettes employée dans la charge dynamique.

S'il n'en est pas ainsi, l'abaissement statique est trop grand.

La proposition annoncée est donc démontrée.

La distance explosive la plus importante à connaître est la distance critique ; je rapporterai quelques expériences relatives à son accroissement qui nous serviront plus loin.

Expériences. — On prend la disposition précédente dans laquelle on ne considère que l'excitateur E ; on rend la distance N assez grande pour qu'il n'y éclate plus d'étincelle.

Distance principale I = 5 mm, distance critique de E non éclairé : 4,7 mm.

α Si l'on prend comme source la lampe à arc avec son condenseur, dans les conditions décrites (I. *a*, p. 19) ; la distance critique de l'excitateur éclairé est de 5,4 mm :

L'allongement de la distance critique est 0,70 *mm.*

β Avec la lampe sans condenseur, à 0,80 m de E :

L'allongement de la distance critique est inappréciable.

γ Avec l'étincelle principale éclatant à 25 cm : la distance critique de E est 5,70 mm ;

L'allongement est 1,3 *mm.*

δ Quand l'étincelle principale éclate à 2,50 m ; la distance critique de E est 5,65 mm ;

L'allongement est 1,25 *mm.*

ε En prenant comme source l'effluve qui s'échappe de la pointe d'un fil *ab* en communication avec le pôle isolé E_1 et se terminant

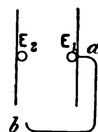


Fig. 13.

à 5 ou 6 cm de E_2 (fig. 13) ; la distance critique de E éclairé par cette effluve est 5,20 mm.

L'allongement est 0,80 *mm.*

Dans une autre expérience où I = 8 mm, sous l'influence de l'effluve qui s'échappe d'une pointe reliée à une machine de Voss, la distance critique passe de 7,5 mm à 10,6 mm.

ζ Pour déterminer la distance de N qui correspond au même potentiel que la distance critique, on rapproche les pôles N de façon à faire éclater les étincelles en N plutôt qu'en E.

L'expérience a montré que, dans les conditions des expériences α, β, γ, δ, ε, la distance critique de N est 4,6 mm ;

Si l'éclairement est suffisamment faible, (expérience β),

E étant à la distance critique 4,7 mm,
N = 4,6 mm, l'étincelle éclate en E,
N = 4,5 mm, » » N ;
Si l'éclairement est intense, (expérience γ),
E étant à la distance critique 5,7 mm,
N = 2,5 mm, l'étincelle éclate en E,
N = 2,3 mm, » » N.

Remarques et conclusions. — Pour une même décharge principale, la distance s'allonge moins qu'une distance explosive dynamique plus petite. En particulier, sous l'influence d'une source assez faible, la distance critique s'allonge d'une quantité inappréciable (exp. β), tandis qu'une distance dynamique deux fois plus petite subit un allongement de la moitié de sa longueur primitive (Exp. I. *b*).

En admettant l'égalité des potentiels explosifs statique et dynamique d'un excitateur poli placé à l'abri des rayons ultra-violets, on peut dire :

I. — *Le potentiel explosif dynamique d'un excitateur éclairé par les radiations ultra-violettes est inférieur au potentiel explosif statique.*

II. — *Si l'éclairement de l'excitateur dérivé est assez faible, la distance critique s'allonge comme une distance statique et l'étincelle critique éclate au potentiel maximum.*

Si l'éclairement de l'excitateur dérivé est assez intense, la distance critique s'allonge plus qu'une distance statique et l'étincelle criti-

que éclate à un potentiel inférieur au potentiel maximum (exp. ζ).

III. — Les expériences précédentes peuvent se répéter aisément dans un cours pour démontrer l'action des rayons ultra-violets sur les potentiels explosifs. A défaut de bobine traversable par une décharge, on prend comme circuit dérivé sur les excitateurs, une colonne d'une solution électrolytique de SO^4Cu, par exemple ; pour réussir très nettement l'expérience, il faut observer les précautions indiquées plus loin et prendre comme distance dynamique une distance environ deux fois plus petite que la distance critique. On évitera avec soin les étincelles dérivées simultanées.

§ IV. Différence d'action des rayons X sur les potentiels explosifs statique et dynamique.

Les rayons X, découverts par M. Rœntgen, agissent sur les potentiels explosifs statique et dynamique comme les radiations ultra-violettes (¹).

L'abaissement de potentiels explosifs statiques se mesure directement à l'aide de l'électromètre de MM. Bichat et Blondlot, en notant le potentiel explosif de l'excitateur éclairé ou non par ces radiations ; l'allongement de la distance explosive se déduit indirectement de cette mesure.

Cette détermination se fait de la manière décrite pour les rayons ultra-violets, avec cette différence que la lampe à arc est remplacée par un tube de Crookes traversé par la décharge d'une bobine de Ruhmkorff actionnée par deux accumulateurs.

Le tube de Crookes étant à 25 cm d'un excitateur à boules de laiton de 1 cm de diamètre et de 5,5 mm de distance explosive, l'abaissement du potentiel explosif est de 1,2 unité électrostatique C. G. S., ce qui correspond à un allongement de distance explosive inférieur à $\frac{2}{10}$ de mm. Un papier noir, une planche de bois de 1 cm d'épaisseur ne changent pas d'une façon appréciable l'abaissement du potentiel explosif. Une plaque de laiton de 0,5 mm d'épaisseur le supprime.

L'allongement de la distance explosive dynamique se mesure directement par la méthode des deux excitateurs dérivés.

La disposition générale est la même que celle qui a été employée pour la lumière ultra-violette ; on place un écran de laiton entre les deux excitateurs dérivés N et E ; on remplace la lampe à arc par le tube de Crookes.

Cependant, sous cette forme, la méthode ne donne que des résultats négatifs ; cela tient à ce fait que l'éclairement du tube de Crookes est forcément intermittent et ne dure qu'une fraction très petite de seconde ; il faudrait un concours très heureux de circonstances pour que le tube fût illuminé au moment de la charge dynamique des excitateurs. Pour tourner cette difficulté, j'ai usé d'un artifice par lequel le tube de Crookes s'illumine en même temps que l'excitateur dérivé se charge par la méthode dynamique (décharge du condensateur) (fig. 14).

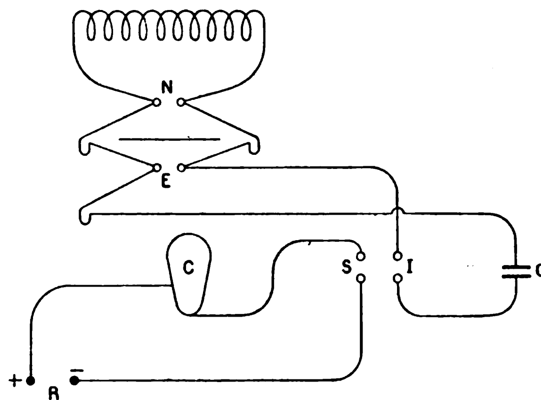


Fig. 14.

Dans le circuit secondaire de la bobine de Ruhmkorff R, on place en série un tube de Crookes C et un excitateur secondaire S. Cet excitateur est placé à 5 cm environ et en face

(¹) *Comptes rendus*, 17 février 1896.

***

du champ interpolaire de l'excitateur principal I qui permet la charge du condensateur. En actionnant la bobine de Ruhmkorff, à chaque étincelle qui éclate en S, la bobine se décharge à travers le tube de Crookes.

On charge lentement le condensateur par une machine de Holtz; lorsque l'excitateur I est à un potentiel très voisin du potentiel explosif statique, on actionne la bobine de Ruhmkorff, en continuant la charge du condensateur; l'une des étincelles qui éclatent en S provoque, par ses radiations ultra-violettes, la décharge de l'excitateur principal et du condensateur et, pendant que la décharge de la bobine illumine le tube de Crookes, la décharge du condensateur charge dynamiquement les deux excitateurs dérivés E et N.

Dans une expérience, l'excitateur I est formé de sphères de 2 cm de diamètre, en laiton, et de 5,5 mm de distance explosive.

Le tube de Crookes, actionné comme pour la mesure des potentiels explosifs statiques, est placé à 25 cm environ de E.

Les excitateurs dérivés sont formés de sphères de 1 cm de diamètre, sur isolant, en laiton (E) ou en platine (N).

L'expérience montre que si les deux excitateurs dérivés ne sont pas éclairés,

N = 3 mm et E = 3,1 mm : l'étincelle éclate en E;

N = 3 mm et E = 3 mm : l'étincelle éclate en N;

Quand E est seul éclairé par les rayons X,

N = 3 mm, E = 5 mm : l'étincelle éclate en E;

N = 3 mm, E = 5,5 mm : l'étincelle éclate en N.

L'allongement de la distance explosive est supérieur à 2 mm.

L'interposition d'un écran de papier de verre ne diminue pas d'une façon appréciable cet allongement; une plaque de laiton le supprime.

L'étincelle de la même bobine de Ruhmkorff produit, dans les mêmes conditions, un allongement du même ordre de grandeur si aucun écran n'est interposé entre l'excitateur E et l'étincelle.

Un écran de bois, de verre, de papier noir, supprime l'allongement. Les matières précédentes sont opaques pour les radiations ultra-violettes électriquement actives.

Donc, on peut conclure, comme pour les rayons ultra-violets, par la proposition suivante :

Sous l'action des rayons X, la distance explosive dynamique d'un excitateur subit un allongement beaucoup plus considérable que la distance explosive statique.

Sous cette forme, l'expérience peut servir d'expérience de cours (voir conclusion III, chapitre précédent).

§ V. Détermination rationnelle d'une distance critique

La distance explosive dynamique d'un excitateur, pour un potentiel dynamique donné, diminue sous l'influence de la couche d'oxyde produite par les étincelles et augmente sous l'influence des radiations ultra-violettes.

Ces deux actions contraires peuvent agir simultanément ou isolément dans la détermination de la distance explosive dynamique d'un excitateur suivant la méthode ordinairement suivie.

Si les influences agissent simultanément, les erreurs peuvent se compenser, mais ce ne sera pas le cas général.

Si l'étincelle principale ou une effluve voisine des pôles exerce une action prépondérante, la distance dynamique peut augmenter notablement.

Si les pôles de l'excitateur ternis par les étincelles sont placés à l'abri de l'étincelle et des effluves, la distance dynamique subira une diminution qui pourra être considérable.

Donc, suivant les hasards de l'expérience, on trouvera, pour la distance explosive d'un

même potentiel dynamique, une valeur ou une autre pouvant présenter entre elles un écart considérable.

Pour qu'une distance explosive dynamique soit déterminée avec précision, il faut observer scrupuleusement les trois règles suivantes, qui sont d'autant plus importantes qu'elles sont les conditions dans lesquelles les potentiels explosifs statique et dynamique sont égaux. (Voir 3e chapitre.)

1° *L'excitateur dérivé sera protégé par des écrans contre l'étincelle principale et les effluves ou aigrettes qui peuvent s'échapper, soit des fils qui conduisent la décharge, soit des conducteurs qui chargent le condensateur;*

2° *Les surfaces polaires de l'excitateur dérivé seront polies à la toile d'émeri fin, après chaque étincelle ou, tout au moins, après deux ou trois étincelles.*

Ce polissage, qui demande un certain temps, un quart de minute, aura en outre l'avantage de chasser l'air échauffé par l'étincelle.

Les pôles de l'excitateur seront en laiton et auront un diamètre de 1 à 2 cm;

3° *On fera éclater les étincelles régulièrement, environ toutes les minutes.*

Cette troisième règle ne peut pas toujours être observée, dans les expériences de Hertz, par exemple. Dans ce cas particulier, 1° on provoquera les décharges régulières du vibrateur par une machine électrostatique, 2° on déterminera la distance critique du résonateur en observant les deux premières règles et, partant d'une distance explosive supérieure à la distance critique, on diminuera progressivement cette distance jusqu'à ce qu'on observe une étincelle au résonateur.

Voici, comme exemple, la détermination d'une distance critique dans les conditions normales que l'on vient d'indiquer.

Expérience. — On reprend la disposition précédente où l'on ne conserve que l'excitateur dérivé E.

l = 8 mm.

Opérations sur les pôles de E.	N° d'ordre des expériences.	Distance explosive de E en mm.	Résultats (on observe en E.)
	19	6,7	Étincelle.
	20	7	»
	21	7,5	Pas d'étincelle.
	22	7,1	Étincelle.
On repolit E.	23	7,4	Pas d'étincelle.
	24	7,15	»
	25	7,05	Étincelle.
	26	7,15	»
On repolit E.	27	7,35	»
»	28	7,55	Pas d'étincelle.
	29	7,35	»
	30	7,15	Étincelle.
On repolit E.	31	7,3	»
	32	7,4	Pas d'étincelle.
On repolit E.	33	7,25	Étincelle.
On repolit E.	34	»	Pas d'étincelle.
	35	»	Étincelle.
On repolit E.	36	»	»
	37	7,4	Pas d'étincelle.
On repolit E.	38	7,35	Étincelle.
	39	»	Pas d'étincelle.
On repolit E.	40	»	Étincelle.

Remarques. — Lorsque l'excitateur E est poli, la distance critique est nettement déterminée, elle est sensiblement égale à 7,35 mm environ (expériences 23, 27, 37, 38, 39, 40).

Si, dans les expériences précédentes, on observe la première et la troisième règle, mais qu'on opère avec des pôles ternis par un usage assez long, on obtient les résultats suivants :

En augmentant peu à peu la distance explosive E jusqu'à ce qu'on n'observe plus d'étincelle dérivée, la distance critique est comprise entre 6,7 mm, et 6,85 mm.

En diminuant peu à peu la distance explosive E jusqu'à ce qu'on observe une étincelle, la distance critique est comprise entre 6,4 et 6,2.

Si on observe les règles relatives à la fréquence des étincelles et au polissage des pôles, mais si on néglige d'entourer d'écrans les excitateurs, pour les protéger contre la lumière ultra-violette, on peut commettre

des erreurs de l'ordre de la moitié ou du tiers de la distance à mesurer. Dans l'expérience γ l'excitateur E, éclairé par l'étincelle principale, a pour distance critique 5,70 mm; si E n'est pas éclairé, sa distance critique est 4,40 mm.

Dans l'expérience ε l'excitateur E est éclairé par une effluve voisine des pôles E; la distance critique est 5,20 mm; si E est protégé soigneusement contre cette effluve, la distance critique est 4,40 mm.

Si on protège l'excitateur dérivé contre les radiations ultra-violettes, et que l'on fasse éclater les étincelles principales toutes les secondes environ, on n'observe ni la règle de la fréquence, ni celle du polissage des pôles. La distance critique varie dans des proportions très considérables comme le montre l'expérience suivante :

Expérience.—On donne à l'excitateur dérivé une distance explosive constante; on fait éclater 50 étincelles principales et on inscrit, pour chaque dizaine, le nombre de celles qui ne provoquent pas d'étincelle dérivée et que j'appellerai *inactives*. On fait cette opération pour diverses distances explosives dérivées, en maintenant l'excitateur principal I à la distance explosive 4 mm et prenant, pour pôles de l'excitateur dérivé, des sphères de 1 cm de diamètre, en laiton, fer et platine.

Voici une expérience complète avec les pôles en laiton :

Distance explosive dérivée.	NOMBRE D'ÉTINCELLES INACTIVES sur 50 étincelles principales.					
	Dans la 1re dizaine.	2e dizaine.	3e dizaine.	4e dizaine.	5e dizaine.	Total.
1,5 mm	0	0	0	0	0	0
2 »	0	0	1	0	0	1
2.5 »	4	3	0	1	2	10
3 »	0	7	3	4	3	17
3,5 »	5	10	10	10	10	45
3 »	0	4	1	5	5	15
2,5 »	0	3	3	0	4	10
2 »	0	2	0	0	0	2
1,5 »	0	0	0	1	0	1

La distance critique varie de 1,5 mm environ à 3,5 mm environ.

Pour les pôles de fer, elle varie de 1 mm à 3 mm environ.

Pour les pôles de platine, de 1 mm à 2,5 mm.

En observant les trois règles, on trouve que la distance critique est comprise entre 3,25 mm et 3,35 mm, quelle que soit la nature des pôles de l'excitateur dérivé.

M. Lodge, dans son grand travail sur les paratonnerres(1) a déterminé un grand nombre de distances critiques par cette condition que, dans la rotation continue de la machine, sur un certain nombre d'étincelles principales la moitié provoque une étincelle dérivée, l'autre est inactive. On voit que, pour des pôles en laiton, qui sont généralement employés, la distance critique ainsi définie ne diffère pas beaucoup de la distance déterminée dans les conditions normales; pour des pôles en fer ou en platine, la différence est beaucoup plus considérable et même peut atteindre la moitié de la distance normale.

J'ajoute que l'irrégularité observée dans les étincelles dérivées fréquentes est très marquée pour les petites distances explosives; elle est moins grande aux grandes distances, ce qui est bien conforme à l'explication de l'effet de l'oxydation des pôles.

Si la détermination de la distance critique par la méthode des étincelles fréquentes peut donner parfois des résultats exacts, elle conduit le plus souvent à des résultats erronés et contradictoires et toujours irréguliers. Je n'en citerai qu'un exemple : Dans une de ses expériences, M. Lodge(2) trouve que si l'on prend successivement, comme circuit dérivé, deux circuits identiques de forme et dimensions, l'un en fer, l'autre en cuivre, la distance critique du circuit en fer est plus petite que celle du circuit en cuivre, ce qu'il énonce en disant que pour éviter la décharge latérale *le fer est préférable au cuivre*.

(1) O. Lodge, *Lightning conductors and Lightning guards*, *Wittaker*. London, 1892.

(2) O. Lodge. *Loc. cit.*, p. 36 et 46.

Dans une autre expérience [1], faite un autre jour, il trouve que le fer et le cuivre sont équivalents et M. Canestrini [2] a confirmé ce dernier résultat.

Bref, toutes les expériences dans lesquelles se produisent des décharges dérivées sont *toutes extrêmement irrégulières*. On a eu tort d'attribuer cette irrégularité à une extrême variabilité de la décharge principale par étincelle ; la cause de perturbation réside dans les conditions initiales de production d'une étincelle dérivée et il est probable qu'en prenant les précautions indiquées tous ces phénomènes prendraient une allure régulière qui permettrait de les soumettre à une étude expérimentale sérieuse.

(*A suivre.*)

R. Swyngedauw,
Maître de conférence à la Faculté de Lille.

ESSAIS D'UNE SÉRIE DE TRANSFORMATEURS AMÉRICAINS

M. Ford a réuni dans le bulletin de *The University of Wisconsin* les essais très complets qu'il a faits sur des transformateurs de fabrication américaine et de puissance relativement petite.

Ces essais, quoique déjà un peu anciens, donnent une idée très nette de l'éclat actuel de la construction des transformateurs en Amérique, aussi il n'est pas sans intérêt d'en donner ici un résumé.

L'opuscule de Ford est précédé d'une note introductive de M. Jackson où le savant professeur expose les méthodes les plus commodes à suivre pour essayer les transformateurs d'une façon complète ainsi que les garanties qu'on est en droit d'exiger des constructeurs. Ces garanties doivent porter sur les pertes dans le fer, la régulation ou mieux la perte de tension aux bornes secondaires avec la charge, l'échauffement et l'isolation pour les décharges disruptives et le courant à circuit ouvert.

D'après lui les pertes dans le fer pour des courants de fréquence égale à 100 ne doivent pas dépasser les chiffres du tableau I ; pour les fréquences 60 on peut admettre, pour conserver le même prix du transformateur, des pertes environ 10 p. 100 plus grandes.

La chute de tension secondaire entre la marche à vide et en charge ne doit pas dépasser 3 p. 100 pour une tension primaire constante.

Le courant d'excitation pour un transformateur à 1 000 volts et à la fréquence 100 ne doit pas être supérieur aux chiffres du tableau I. Pour des fréquences plus basses le courant à vide peut croitre en raison inverse de l'abaissement de la fréquence. Pour des tensions différentes de 1 000 volts le courant d'excitation doit varier inversement proportionnellement à la tension, en particulier si la tension est de 100 volts le courant à vide pourra être 10 fois plus grand que celui indiqué par le tableau I.

Tableau I

Puissance.	Pertes dans le fer.	Courant d'excitation.
1 000	30	0,055
1 500	40	»
2 000	50	0,08
2 500	60	»
4 000	80	»
6 500	100	0,1
7 500	150	0,2

L'élévation de température au-dessus de la température extérieure mesurée par l'accroissement de résistance des circuits électriques ne doit pas être supérieure à 40° C, après un travail de 10 heures.

Quant à la résistance à la tension entre les bobines et entre la haute tension et la masse, elle doit être après 10 heures de marche telle que l'appareil puisse supporter entre ces deux enroulements, ou entre sa bobine primaire et la masse, une tension *dix fois plus grande* que la tension primaire.

(1) O. Lodge *Loc. cit.*, p. 116 et 117.

(2) Canestrini. *A proposito delle espérienze d. O. Lodge sulle scariche elettriche. R. Stabilimento Prosperini.* Padova, 1893.

La résistance d'isolement enfin ne doit pas être inférieure à dix megohms.

La conclusion du professeur Jackson est digne d'être livrée à la méditation des exploitants et même des constructeurs, elle est la suivante :

Les transformateurs qui ne satisfont pas aux conditions de résistance à la tension et d'élévation de température données plus haut sont d'un usage dangereux sur les circuits de distribution; quant à ceux qui ont des pertes par hystérésis et par courants parasites, une chute de tension ou un courant à vide trop grands, ils se contentent de dissiper l'argent des compagnies qui les emploient.

Aussi dures que puissent être ces conclusions, elles ne sont pas, pour la plupart, exagérées et il serait à désirer qu'on s'en rapprochât le plus possible. Une seule paraît excessive, c'est celle de la résistance à la tension. Nous ne croyons pas que beaucoup de constructeurs, surtout ceux qui ont adopté le type du transformateur cuirassé, soient décidés à accepter qu'un appareil à 10 000 volts, par exemple, soit essayé après dix heures de marche en charge, à une tension de 100 000 volts entre sa haute tension et sa basse tension ou entre son circuit primaire et sa masse.

Il est juste cependant de dire que la conclusion du professeur Jackson est inspirée de ce que la plupart des incendies ayant une cause électrique sont généralement dues à des décharges passant d'un circuit à l'autre. Une récente communication de M. Herbert C. Wirt à la *Milwaukee Meeting of the Northwerstern Electrical Association* [1] nous en donne la preuve.

Quoi qu'il en soit, dans les essais faits par M. Ford qui pourtant a suivi les méthodes préconisées par M. Jackson, la résistance à la tension a été laissée de côté.

Trois méthodes sont généralement employées pour mesurer les pertes ou le rendement d'un transformateur :

1° La méthode d'opposition bien connue de MM. Ayrton et Sumpner, que l'auteur élimine avec raison comme ne donnant que le rendement global des deux transformateurs ;

2° La méthode naturelle consistant à mesurer la puissance primaire et la puissance secondaire à l'aide de deux wattmètres ;

3° La méthode de M. Sumpner, dite aussi méthode des pertes séparées basée sur la constante des pertes par hystérésis.

La seconde méthode est évidemment plus commode que la troisième, mais est malheureusement moins précise. En effet, toute erreur dans les lectures des wattmètres figure en valeur absolue dans les pertes ; tandis que la mesure des pertes dans le fer et dans le cuivre successivement avec un seul wattmètre n'introduit qu'une erreur relative dans l'évaluation des pertes. Les essais comparatifs faits par M. Ford mettent nettement ce fait en évidence.

La méthode adoptée par cet expérimentateur est donc la troisième.

Elle consiste, comme on le sait, à mesurer séparément :

1° Les pertes dans le fer à vide, c'est-à-dire à circuit secondaire ouvert à l'aide d'un wattmètre ;

2° Les pertes dans le cuivre pour chaque intensité de courant dans le secondaire. Ces pertes sont mesurées avec un wattmètre disposé dans le primaire, le secondaire étant fermé en court-circuit sur un ampèremètre, et la tension est réglée aux bornes du primaire de façon à ce que le courant ait l'intensité voulue dans le secondaire.

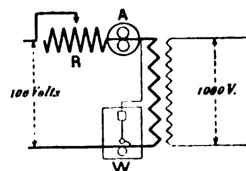


Fig. 1.

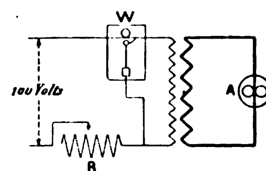


Fig. 2.

Les figures 1 et 2 représentent les schémas des montages des transformateurs et des appareils pour ces deux genres d'essais.

(1) *Electrical World* du 23 janvier 1897.

L'étude de M. Ford a porté sur une série de 21 transformateurs fournis par douze des principales compagnies américaines et appartenant presque tous au type dit cuirassé.

Chaque appareil a été essayé à toutes charges et pour deux fréquences différentes, 60 et 125 périodes par seconde. Nous nous contenterons de reproduire les tableaux suivants que l'auteur donne comme résumé de ses essais :

TABLEAU A.

PERTES DANS LE FER		INDUCTION MAXIMA		CONSTANTE D'HYSTÉRÉSIS	
$f = 125$	$f = 60$	$f = 125$	$f = 60$	$f = 125$	$f = 60$
0,017	0,027	3 770	7 870	$2{,}59 \times 10^{-10}$	$2{,}66 \times 10^{-10}$
0,011	0,015	»	»	» »	» »
0,008	0,011	2 050	4 280	3,20 »	2,90 »
0,013	0,017	2 600	5 400	3,52 »	3,04 »
0,015	0,020	3 640	7 500	2,39 »	2,10 »
0,045	0,067	3 750	7 720	6,26 »	6,57 »
0,014	0,021	3 630	7 560	2,24 »	2,12 »
0,005	0,007	1 960	4 080	2,38 »	2,22 »
0,024	0,031	»	»	» »	» »
0,008	0,011	2 380	4 960	2,54 »	2,24 »
0,018	0,021	4 670	8 460	2,42 »	2,06 »
0,014	0,018	3 210	6 650	2,75 »	2,28 »
0,014	0,021	»	»	» »	» »
0,013	0,024	5 250	10 950	1,94 »	2,45 »
0,017	0,021	3 540	7 470	2,88 »	2,26 »
0,024	0,047	3 120	6 400	4,73 »	6,33 »

Le tableau A se rapporte aux pertes dans le cuivre. Celles-ci sont estimées en watts par centimètre cube, l'induction pour chacune des deux fréquences et le coefficient de Steinmetz sont également indiqués.

M. Ford déduit le coefficient de Steinmetz en admettant les pertes par courants parasites négligeables devant celles par hystérésis. Ceci n'est malheureusement pas le cas dans les transformateurs. Nous ne connaissons pas l'épaisseur des tôles employées dans les transformateurs essayés, mais on peut admettre que cette épaisseur est d'environ 0,04 cm. Prenons par exemple le transformateur n° 1. Les pertes par courants de Foucault en appliquant la formule connue de Fleming sont pour un centimètre cube :

$$W = 16\ V\ [e\ n\ B^2]\ 10^{-12} = 16\ [0{,}04.\ 60.1870\ ]^2\ 10^{-12} = 0{,}0058 \text{ watt.}$$

Les pertes totales par centimètre cube de fer étant 0,027, on voit que celle par courants parasites y entre environ pour un cinquième. Ces pertes sont évidemment les mêmes à la fréquence 125, la force électromotrice constante étant proportionnelle au produit n B.

Les coefficients d'hystérésis donnés par M. Ford sont donc à diminuer d'environ 20 p. 100, en admettant que notre supposition sur l'épaisseur des tôles soit exacte. Avec des tôles de 0,05 cm la réduction serait de 33 p. 100.

Dans le tableau B sont réunis les éléments du calcul du rendement, celui-ci, le courant d'excitation et le facteur de puissance à vide.

Le rendement journalier est calculé à raison d'une marche de 19 heures à vide et de 5 en pleine charge. Ce rendement est évidemment d'autant plus voisin du rende-

ment maximum que la proportion de cuivre et par suite les pertes dans les enroulements sont plus grandes par rapport aux pertes dans le fer.

TABLEAU B.

NUMÉROS	PUISSANCE NOMINALE	PERTES dans le fer.		PERTES maxima dans le cuivre.	RENDEMENT maximum.		RENDEMENT journalier.		COURANT à circuit ouvert.		FACTEUR de puissance à vide.	
		$f = 125$	$f = 60$		$f = 125$	$f = 60$	$f = 125$	$f = 60$	$f = 125$	$f = 60$	$f = 125$	$f = 60$
1	450	23,4	38,6	12,2	92,5	90,0	78,4	69,6	0,033	0,061	0,710	0,634
2	1 000	24,4	27,6	32,8	94,9	94,4	87,2	85,8	0,028	0,064	0,752	0,520
3	1 250	37,0	48,5	29,7	95,0	94,0	85,1	83,0	0,043	0,066	0,840	0,730
4	1 500	50,5	70,6	45,2	94,6	94,0	84,8	80,6	0,076	0,124	0,640	0,565
5	1 500	45,7	60,1	36,2	94,8	94,0	85,5	83,4	0,054	0,099	0,817	0,615
6	1 500	126,0	206,0	14,8	91,5	87,4	70,8	60,0	0,173	0,475	0,650	0,400
7	1 500	32,2	46,5	38,1	95,7	94,5	89,4	85,0	0,052	0,100	0,620	0,465
8	1 500	33,7	44,6	57,5	94,7	94,2	86,0	85,3	0,054	0,068	0,628	0,656
9	1 500	97,5	125,0	38,5	91,7	90,1	76,5	70,2	0,124	0,190	0,786	0,657
10	1 500	31,5	44,5	44,0	95,6	94,7	89,0	85,8	0,050	0,076	0,615	0,590
11	1 500	57,5	76,0	30,9	94,5	93,4	83,0	79,2	0,073	0,113	0,796	0,672
12	1 500	43,2	55,5	28,5	95,3	94,6	86,5	83,7	0,077	0,144	0,556	0,384
13	1 500	57,0	82,0	35,3	93,7	92,0	83,0	77,8	0,085	0,125	0,670	0,656
14	1 800	53.5	108,7	66,6	94,0	91,7	84.7	75,5	0,076	0,600	0,710	0,182
15	2 000	42,4	56,3	54,8	95,2	94,5	88,6	86,5	0,055	0,091	0,785	0,630
16	2 500	135,0	230,0	44,4	92,5	89,0	77,0	68,0	0,230	0,540	0,585	0,430
17	7 500	74,0	100,0	240,0	96,7	96,4	93,1	91,2	0,116	0,168	0,638	0,595
18	7 500	90,0	122,0	160,0	97,0	96,6	92,8	91,0	0,160	0,209	0,566	0,585
19	1 000	19,0	29,0	28,0	95,6	94,5	89,5	85,8	0,028	0,047	0,680	0,620
20	4 500	49,5	70,0	100,0	97,1	96,5	93,0	91,1	0,080	0,100	0.62	0,70
21	10 000	103,0	144,0	160,0	97,5	97,2	93,8	92,0	0,160	0,230	0,61	0,64

Ces pertes par hystérésis, lorsqu'on passe de la fréquence n à une fréquence plus grande n' sont, comme il est facile de l'établir, multipliés par le coefficient $\left(\frac{n'}{n}\right)^{0,4}$ si la tension aux bornes primaires reste constante. Dans le cas actuel la valeur de ce coefficient est de 1,55; les watts transformés en chaleur par les renversements du flux sont donc de 55 p. 100 plus grands à la fréquence 125 qu'à la fréquence 60.

Un point également important dans l'exploitation par courants alternatifs est le cos φ à vide. On doit autant que possible augmenter ce facteur pour diminuer les courants déwattés à fournir par les génératrices et les pertes dans la ligne. Parmi les appareils essayés, on a vu que ce facteur varie de 0,18 à 0,73 pour 60 périodes et 0,55 à 0,84 pour 125 périodes; les différences sont dues au nombre de joints magnétiques résultant du mode particulier de construction de chaque genre d'appareils.

L'obtention d'un facteur de puissance à vide assez grand est compatible avec celle d'un rendement journalier élevé; on y arrive en employant un circuit magnétique peu résistant et une induction relativement faible.

Passons maintenant aux mesures de la chute de tension. Chaque appareil est disposé comme l'indique la figure 3 et l'on mesure les volts primaires et secondaires ainsi que les courants et les watts secondaires pour chaque régime.

La chute de tension, différente entre la différence de potentiel aux bornes secondaires

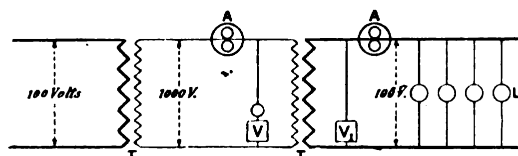


Fig. 3.

à vide et en charge pour une tension constante aux bornes primaires, se décompose en trois parties, la perte ohmique dans la basse tension, la perte ohmique dans la haute tension ramenée à ce qu'elle serait dans le secondaire, c'est-à-dire multipliée par le rapport du nombre de spires secondaires à celui de spires primaires ou le rapport des différences de potentiel à vide et une troisième partie qu'on obtient par différence entre la chute totale et la somme des deux chutes ohmiques calculées et qui représente l'influence des dérivations magnétiques.

TABLEAU C.

NUMÉROS	CHUTE TOTALE		CHUTE PRIMAIRE		CHUTE SECONDAIRE		CHUTES DUES aux fuites magnétiques.	
	$f = 125$	$f = 60$	$f = 125$	$f = 60$	$f = 125$	$f = 60$	$f = 125$	$f = 60$
1	82,0	21,0	24,2	28,0	1,94	2,48	78,0	15,7
2	3,1	3,2	16,6	14,7	1,48	1,43	0,1	0,3
3	2,3	3,5	10,9	12,4	0,80	1,00	0,5	1,3
4	3,5	2,8	7,9	7,7	0,85	0,88	1,9	1,1
5	2,9	2,0	9,3	8,7	1,04	0,98	1,0	0,1
6	1,8	1,2	3,4	3,9	0,41	0,42	1,1	0,4
7	4,9	3,3	12,6	13,0	1,05	1,10	2,6	0,9
8	2,6	2,7	11,5	11,5	2,20	2,20	»	»
9	4,0	3,1	7,9	7,9	0,78	0,78	2,4	1,5
10	2,7	1,8	11,9	12,0	0,79	0,79	0,7	»
11	2,8	2,2	8,2	7,9	1,04	1,04	1,0	0,4
12	3,8	2,0	12,7	12,5	1,36	1,36	1,2	»
13	4,6	3,4	8,5	8,5	1,36	1,36	2,4	1,2
14	5,2	4,7	17,0	17,8	1,40	1,40	2,1	1,5
15	5,3	4,2	8,2	8,4	1,71	1,75	2,8	1,7
16	2,1	2,5	5,9	5,9	0,80	0,80	0,7	1,1
17	3,0	2,8	»	2,8		»	0,2	0,0
18	2,9	2,3	»	2,1		»	0,8	0,2
19	2,7	2,9	»	2,6 et 2,8		»	0,1	0,1
20	3,0	2,5	»	2,3		»	0,7	0,2
21	1,7	1,8	»	1,6		»	0,1	0,2

Le tableau C reproduit ces diverses tensions pour les 21 transformateurs étudiés.

Ces chiffres permettent de calculer la force électromotrice due aux fuites magnétiques qui est décalée d'un quart d'onde par rapport aux chutes ohmiques qu'on peut admettre comme pratiquement de même phase. Il eût été intéressant de comparer les valeurs ainsi déterminées avec celles obtenues par la méthode indiquée par M. Kapp et qui consiste, comme on le sait, à mesurer le voltage aux bornes primaires le secondaire étant en court-circuit et la tension primaire étant réglée de façon à ce que l'intensité dans l'enroulement à basse tension ait sa valeur normale, c'est-à-dire en somme, à mesurer la différence de

potentiel primaire en même temps que les watts perdus dans les enroulements.

Théoriquement, l'effet des fuites magnétiques doit être plus faible pour la fréquence 60 que pour la fréquence 125, puisque la force électromotrice due aux dérivations de flux est plus petite à 60 périodes qu'à 125. Il n'en est toutefois pas ainsi pour quelques-uns des transformateurs, la divergence doit être attribuée à des erreurs expérimentales malgré toutes les précautions prises pour les éviter.

Le fait, d'ailleurs connu, qui se dégage bien de la comparaison de l'effet des fuites magnétiques avec la forme des bobines est que les transformateurs à bobines allongées ont moins de fuites que ceux à bobines courtes.

Les transformateurs 5 et 6 ont des circuits magnétiques identiques, mais dans le second, l'enroulement primaire a été placé entre les deux moitiés du circuit secondaire, de façon à diminuer les fuites; on voit par les chiffres correspondant à la fréquence 125 que l'effet des dérivations magnétiques paraît être sensiblement le même.

Enfin le transformateur n° 1 est un exemple d'appareil alimenté à potentiel constant et dont le circuit secondaire fonctionne à courant constant grâce à l'effet des fuites des deux circuits.

Les essais calorifiques faits par M. Ford ont porté sur la marche à vide et la marche à différentes charges sur les transformateurs dans leur caisse ou hors de leur caisse.

Les chiffres relevés sont quelque peu incohérents, principalement en ce qui concerne l'effet de la caisse sur l'échauffement de l'appareil. La seule chose qu'on peut en déduire, c'est que pour une élévation de température de 40° C, il faut en moyenne, par watts perdus 10,4 cm² de surface de fer et de bobines, lorsque l'appareil est dans sa caisse, ou encore 17 cm² de surface de caisse; 9,4 cm² lorsque celle-ci est enlevée.

Ces températures sont évaluées par augmentation des résistances des enroulements. Un thermomètre permet de contrôler la température du fer.

M. Ford propose, pour séparer les pertes par courants de Foucault, des pertes par hystérésis, non plus la marche à deux fréquences différentes comme dans la méthode de Mordey, mais la marche à deux températures différentes du fer.

Les pertes par courants de Foucault sont en effet proportionnelles à la résistance spécifique du métal magnétique et par suite, diminuent avec l'augmentation de température.

L'équation des pertes à froid, sera :

$$P_f = H + F_f, \qquad (1)$$

à chaud, elle sera :

$$P_c = H + F_c. \qquad (2)$$

où P_f et P_c sont les pertes totales à froid et à chaud, F_f et F_c les pertes par courants de Foucault et H les pertes par hystérésis.

Si la tension aux bornes est constante, les pertes par courants de Foucault seront inversement proportionnelles à la résistance spécifique du fer, on aura donc en désignant par R cette résistance et K son coefficient :

$$F_f = \frac{K}{R_f} \qquad F_f = \frac{K}{R_c};$$

D'autre part si t est la différence de température entre les deux essais, on a :

$$R_c = R_f(1 + at).$$

En combinant par soustraction les équations (1) et (2), puis remplaçant F_f par sa valeur, et enfin R_c par sa valeur en fonction de R_f, on obtient finalement :

$$F = (P_f - P_c)\,\frac{1 + at}{at}.$$

Cette méthode n'a pas donné de résultats bien satisfaisants; toutefois M. Ford pense que les circuits sont dus uniquement à la difficulté de maintenir la tension primaire constante.

En somme, les essais faits par M. Ford sur les transformateurs américains, ainsi que ceux faits dans un but moins scientifique, ne

sont pas moins intéressants que les essais de M. Fleming sur les transformateurs anglais. Il est à désirer qu'un de nos laboratoires entreprît une étude analogue sur les appareils français, ne serait-ce que pour montrer qu'ils ne sont pas inférieurs à leurs congénères étrangers.

F. Guilbert.

REVUE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Commutateur à contacts ajustables Parkinson et Storey (1).

Particulièrement destiné aux tableaux de distribution, ce commutateur permet de substituer le courant d'une dynamo à celui d'un autre sans interruption appréciable.

Il se compose d'une tige horizontale, *d*, à section carrée, munie de deux tourillons *e*, *e*, et sur laquelle peuvent glisser deux pièces métalliques *g*, portant des contacts feuilletés *h* à écartement réglable par les vis h_2, et fixées par les vis g_2; les deux tiges cylindriques d_1, d_2 parallèles à *d* servent de guides; la poignée f_1 permet de faire tourner la tige *d* d'un quart de tour dans un sens ou dans l'autre et par suite d'engager les contacts de l'une ou l'autre des pièces *g* entre deux mâchoires placées en regard.

Dans la figure, *b*, *b*, *b*, *b* sont les barres omnibus d'un tableau reliées deux à deux au conducteur d'aller et au conducteur de retour; c_1 et c_2 communiquent respectivement aux pôles de même nom de deux dynamos;

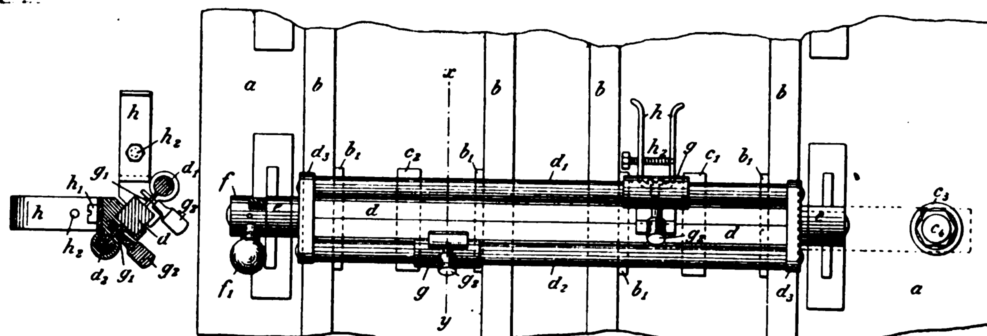


Fig. 1 et 2. — Commutateur à contacts ajustables Parkinson et Storey.

la manœuvre du commutateur permettra de mettre en circuit l'une ou l'autre dynamo.

L. D.

Commutateurs allumeurs-extincteurs automatiques Edmund et Howard (2).

Le premier de ces appareils, représenté en figure 1, a été imaginé dans le but de permettre l'extinction des lampes à arc montées sur un circuit d'éclairage public aux heures voulues de la nuit et l'allumage immédiat de deux lampes à incandescence destinées à les remplacer pendant le reste de la période d'éclairage. Ce commutateur, nous dit *The Electrical Review*, de Londres, vient dêtre mis en pratique à Portsmouth sur un circuit de 240 arcs parallèle à un circuit à incandescence alimentant deux lampes à chaque pylône.

Le schéma de la figure 2 montre comment la double opération peut être réalisée simultanément. L'arc étant allumé, le courant passe par +, 1, 2, l'électro en série E, la borne A, alimente l'arc par 3, et suit le fil de retour par 4, 5, 6 et —. Tant que l'arc fonctionne, E est excité et maintient l'armature C,

(1) Brevet anglais n° 24223; 30 octobre 1896, 6 figures.

(2) *The Electrical Review*, t. XL, p. 414; 26 mars 1897.

pivotée en D, séparée de la borne à entaille E′ par laquelle s'effectue la mise en circuit des lampes à incandescence F_1, F. Or dès qu'on veut produire l'allumage de ces dernières il suffit d'interrompre le courant de l'arc, E relâche son armature qui en tombant en E′ livre passage au courant des deux lampes à travers le conducteur +, le coupe-

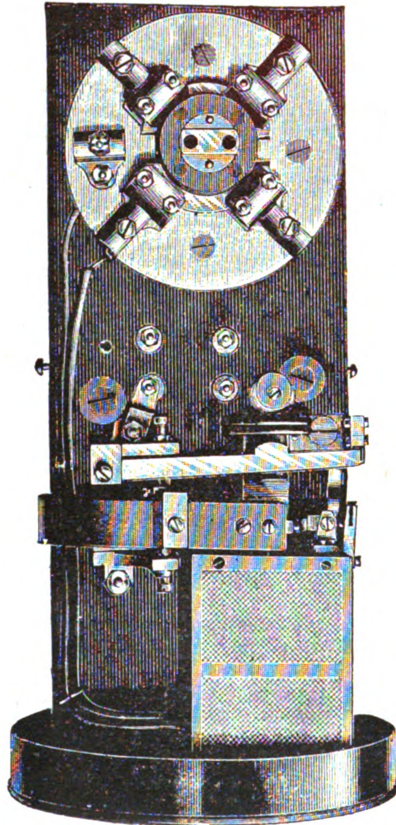


Fig. 1. — Commutateur allumeur-extincteur automatique Edmond et Howard. Élévation

circuit J, les lampes, le fil de retour, le commutateur C, le second coupe-circuit J′ et le conducteur —. A l'extinction, on lance un courant inversé dans le circuit de la lampe à arc qui, en excitant l'électro, dégage C de E′ et par conséquent rompt le circuit des deux lampes. L'inversion du courant dans l'électro a pour but non seulement de déclencher C mais aussi d'agir sur un cliquet (non visible sur la figure) monté sur un pivot, qui vient se placer sous le levier en suspens et l'em-

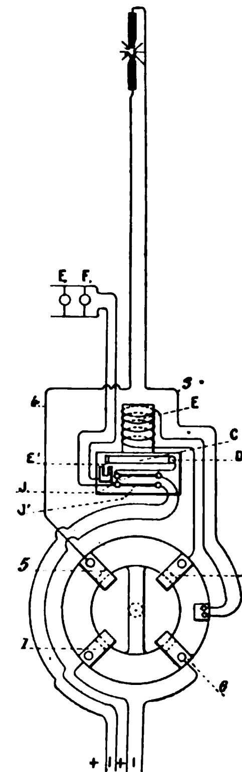


Fig. 2. — Schéma des circuits.

pèche de retomber en E′ dès qu'on inter-

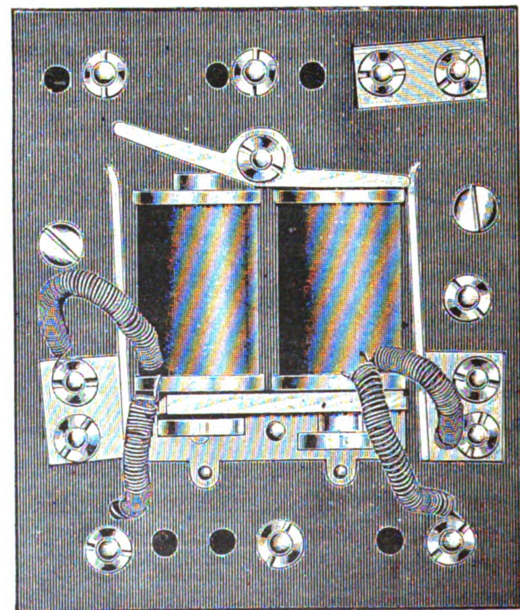


Fig. 3. — Commutateur d'allumage et d'extinction générale. Élévation.

rompt le courant ; à l'allumage ce cliquet est libéré par l'attraction de C.

Le commutateur extincteur (fig. 3) est destiné à provoquer l'allumage ou l'extinction de toutes les lampes d'un établissement. Comme on le voit par l'examen du schéma, cet appareil peut être commandé à distance par une manette E, à l'aide de laquelle on

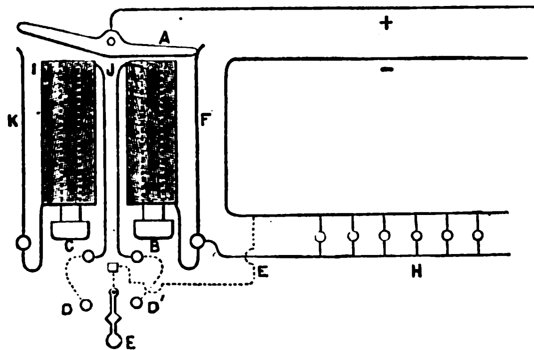


Fig. 4. — Schéma des circuits.

lance le courant dans l'un ou l'autre des deux solénoïdes I, J, à noyaux glissants C, B, qui, par leur attraction, dégagent ou mettent en prise le levier à bascule A, avec l'une des deux lames ressorts E, F, dont l'une F est en série sur les lampes. Les deux touches D, D', que peut occuper E correspondent aux deux positions de A, lesquelles provoquent soit l'allumage soit l'extinction générale. L. D.

Coupe-circuit à bain d'huile L. Spencer (1).

Les deux plombs fusibles F, F (fig. 1), du coupe-circuit unipolaire Spencer forment chacun une boucle dans laquelle passe l'extrémité d'une plaque F_2, en matière conductrice et incombustible immergée dans un bain d'huile lourde contenu dans un récipient inférieur B. Les deux extrémités libres de chaque boucle viennent se fixer, en traversant les canaux G, G, à deux bornes T, T. La plaque F_2 poussée par le ressort S de la tige I, maintient les deux boucles suffisamment tendues pour que les deux branches de chacune d'elles ne viennent en contact. Dès qu'un court-circuit se produit, l'une des boucles étant fondue, I repousse, par l'action de S,

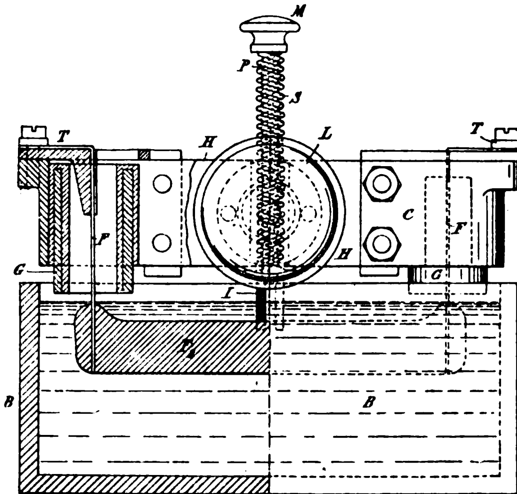


Fig. 1. — Coupe-circuit Spencer.

le barreau F_2 vers le fond du vase, de sorte que l'arc qui se produit est vivement rompu.

L. D.

(1) Brevet anglais n° 6692; 28 déc. 1896. — 2 figures.

Vaporisateur électrique Clubbe et Southey, pour moteurs à pétrole (1).

Un dispositif chauffé par un courant électrique provoque la vaporisation du liquide combustible avant son arrivée dans le cylindre où il se mélange à l'air extérieur.

Dans ce but la soupape d'admission *c* (fig. 1) du liquide venant par D est fixée sur un manchon H traversé intérieurement par un tube en cuivre mince A dans lequel passe une spirale ayant pour but de faire couler le liquide le long des parois intérieures de A. Ce tube est garni extérieurement d'une enveloppe d'amiante F qui entoure les spires d'un fil nu E, E aboutissant d'une part à l'une des bornes isolées G', et d'autre part, par le tube *g*, à la seconde borne G. Les spires sont recouvertes d'une épaisse couche d'amiante F'

(1) Brevet anglais n° 4069; 23 nov. 1896. — 3 figures.

s'opposant aux pertes de chaleur par convection. Le passage du courant échauffe les

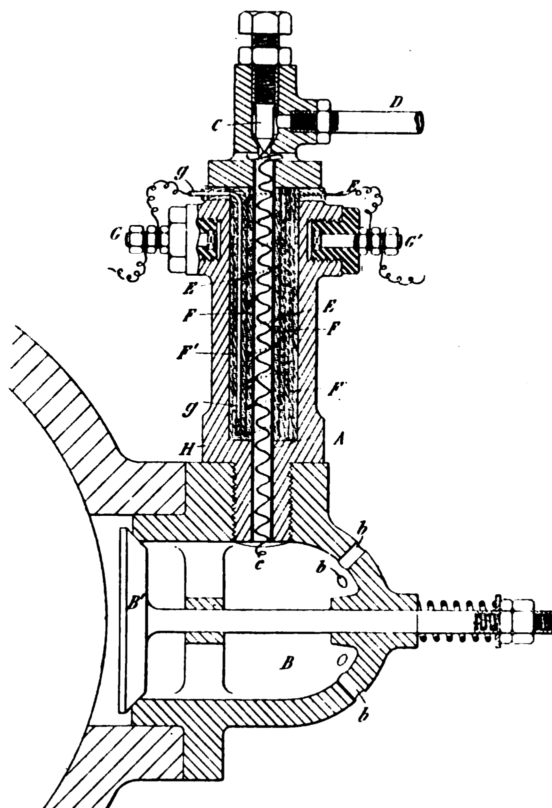


Fig. 1. — Vaporisateur électrique Clubbe et Southey.

parois du tube A, ce qui détermine la vaporisation. L. D.

Trôlet souterrain, système Siemens Brothers (1895).

Le bras de trôlet *b* est creux ; il est pivoté à sa partie supérieure autour d'un axe horizontal *a*, monté sur la voiture perpendiculairement à l'axe longitudinal de l'ouverture du caniveau. Dans l'intérieur de ce bras peut se mouvoir de haut en bas une tige *f* à la partie inférieure de laquelle est monté à charnière un bras *g* dont l'extrémité opposée porte le frotteur *h* qui vient prendre contact sur le conducteur principal *x* ; une bielle *n* relie le milieu du levier *g* en un point fixe du bras du trôlet *b ;* par suite de cette disposition, lorsqu'on élève la tige *f*, le levier *g* s'abaisse et vient se loger dans la partie inférieure du bras *b*, ce qui permet de retirer celui-ci par l'ouverture du caniveau ; lorsque, au contraire, on abaisse la tige *f*, le frotteur *h* est porté au contact du conducteur *x*. Un puissant ressort *m* reposant sur une butée fixe *q*, tend à soulever constamment la tige *f*. Un levier *e* qui vient appuyer sur l'extrémité supérieure de cette tige la maintient abaissée en temps normal, la tige *f* est formée de deux parties *f* et *f'*; réunies par un ressort *l*

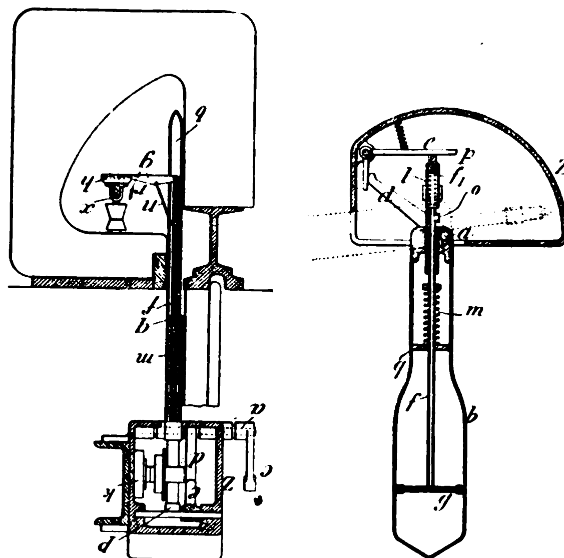


Fig. 1 et 2. — Trôlet souterrain, système Siemens brothers.

afin d'amortir l'effet des chocs. Le frotteur *h* est isolé ; il est réuni au circuit des moteurs par des conducteurs passant dans l'intérieur de la tige *f*, et sortant en *o*, à une bague isolée sur laquelle vient frotter le contact à ressorts *k*.

Lorsqu'on désire visiter les frotteurs *h*, il suffit de faire tourner l'axe *a* au moyen de la manivelle *c ;* le bras de trôlet s'incline comme l'indique le dessin en pointillé (fig. 2) et, lorsque la tige *f* quitte le levier *e*, le ressort *m*, en la soulevant, abaisse le frotteur *g* qui rentre dans l'intérieur du soc : en même temps, le contact avec le circuit des moteurs est rompu en *k*, ce qui évite tout danger d'accident. Le même effet se produit automatiquement lorsque, la voiture étant en marche,

un obstacle quelconque vient arrêter le bras du trôlet ou le frotteur.

Pour remettre le trôlet en place, il suffit de l'introduire à nouveau dans l'ouverture du caniveau et de le ramener à la position verticale. Le levier e, poussé par le bras d solidaire de l'axe a, abaisse alors la tige f et ramène le frotteur au contact du conducteur principal x. G. P.

La fabrication électrolytique des hypochlorites et chlorates alcalins ;

Par OETTEL [1].

Dans ce travail, l'auteur a étudié l'influence des causes secondaires sur le rendement en hypochlorites et chlorates par l'électrolyse des chlorures alcalins, et en a montré la grande importance. Bien que datant déjà de deux ans, ce travail, dont l'analyse n'a pu encore trouver place dans nos colonnes, nous a paru présenter assez d'intérêt pour reproduire l'analyse et la discussion qui en ont été faites par M. Bayer, dans une récente communication à l'Association des Ingénieurs-électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore.

Pour se rendre compte de ce qui se passe pendant l'électrolyse, M. Oettel met en tension, dans le même circuit, l'électrolyseur d'expérience, un voltamètre à eau et un voltamètre à sulfate de cuivre. L'électrolyseur d'expérience est fermé hermétiquement par un couvercle, et les gaz sont envoyés dans une éprouvette graduée de manière à permettre de mesurer le nombre de centimètres cubes de gaz produit dans un temps donné; le couvercle est en outre percé d'un trou dans lequel on enfonce un tube allant jusqu'au fond de l'électrolyseur. Avec ce dispositif on pourra, quand on le voudra, prélever, au moyen d'une pipette, une certaine quantité d'électrolyte pour l'analyser.

Le voltamètre à eau mesurera le nombre de centimètres cubes d'hydrogène produit pendant un temps donné et le voltamètre à cuivre nous donnera, pendant toute la durée de l'expérience, un dépôt de cuivre dont le poids sera proportionnel au nombre d'ampères-heure fournis.

Prenons un exemple pour mieux faire saisir la méthode. Supposons que, pendant la durée d'une expérience, on ait recueilli 40 cm^3 d'hydrogène dans le voltamètre à eau ; pendant le même temps l'électrolyseur a produit 32 cm^3 de gaz formés de : hydrogène 30 cm^3, oxygène 1,6 cm^3, chlore 0,4 cm^3. Des 30 cm^3 d'hydrogène, il faut retrancher la quantité correspondante à l'oxygène dégagé, soit 3,2 cm^3, et celle correspondante au chlore dégagé, 0,4. Il reste $30 - (3{,}2 + 0{,}4) = 26{,}4$ cm^3 d'hydrogène. Pendant le temps que nous produisions dans le voltamètre à eau 40 cm^3 d'hydrogène, l'électrolyseur n'en a fourni que 30, soit donc une perte de 10, soit donc en pour cent du courant employé $\frac{10}{40} = 25$ p. 100, qui ont été employés à réduire l'hypochlorite formé et à le ramener à l'état de chlorure.

La fraction de courant perdue par le fait de la décomposition de l'eau est $\frac{3{,}2}{40} = 8$ p. 100 et celle correspondant à la quantité de chlore dégagee $\frac{0{,}4}{40} = 1$ p. 100. Enfin la fraction du courant utile sera donnée par la quantité d'hydrogène 26,4 cm^3, qui eût été obtenue réellement si nous n'avions pas à faire de décompte de ce qui correspondait à l'oxygène et au chlore. Le rendement sera donc

$$\frac{26{,}4}{40} = 66 \text{ p. } 100$$

L'utilisation du courant aura été la suivante :

Hydrogène dégagé	66	p. 100
Réduction de l'hypochlorite...	25	»
Décomposition de l'eau	8	»
Dégagement de chlore......	1	»
	100	

En opérant de cette manière avec une solution neutre de chlorure à 20 p. 100, les élec-

---

[1] *Zeitschrift für Elektrotechnik und Elektrochemie*, t. I, n° 11 et 15.

trodes étant en platine, la densité du courant 720 ampères par mètre carré et le voltage de 3,30 à 4,40 volts, on trouve les résultats indiqués par le tableau suivant où la première colonne indique en pour cent l'effet utile, la seconde la perte par décomposition de l'eau, la troisième la perte par réduction de l'hypochlorite :

Après 10 minutes.	80,29	0,72	18,99
» 60 »	36,46	5,05	58,49
» 120 »	19,20	8,70	72,10

Le voltamètre à sulfate de cuivre a donné 2,48 gr de cuivre métallique correspondant à 2,786 gr de chlore. En titrant la solution à la fin de l'expérienee, on trouve :

Chlore à l'état d'hypochlorite. . . .	0,8589 gr.
» de chlorate.	0,3411 »
Total.	1,2000 gr.

soit 43,07 p. 100 de la quantité théorique.

M. Oettel a fait, au moyen de la même méthode, un grand nombre d'expériences, dont voici les principaux résultats :

1° Si l'on ajoute de l'acide chlorhydrique, il se décompose immédiatement avec dégagement de chlore.

2° Si on ajoute de la soude ou de la potasse, on favorise la décomposition de l'eau.

3° La réduction de l'hypochlorite formé étant importante, il faut tâcher de réduire cette perte en augmentant la densité de courant à la cathode. Avec une solution neutre à 20 p. 100, une densité de courant de 146 ampères à l'anode et de 1460 ampères à la cathode, on obtient, après 120 minutes.

Effet utile.	37,2 p. 100
Décomposition de l'eau..	24,19 »
Réduction de l'hypochlorite . . .	38,61 »

Le rendement en chlore trouvé par la quantité de cuivre déposée et le titrage de la solution est de 52,8 p. 100.

4° Si on augmente la densité de l'anode (146), c'est-à-dire en se plaçant dans les meilleures dispositions pour favoriser la réduction de l'hypochlorite, on trouve après 120 minutes :

Effet utile	5,10 p. 100
Décomposition de l'eau.	1,88 »
Réduction de l'hypochlorite . .	93,12 »
Rendement en chlore.	17,37 »

5° Si on augmente la densité aux deux électrodes et qu'on la porte à 1460 ampères, on trouve après 120 minutes :

Effet utile	29,76 p. 100
Décomposition de l'eau.	14,29 »
Réduction de l'hypochlorite. . .	55,95 »
Rendement en chlore	51,40 »

La conclusion à tirer de ces essais, est qu'il est impossible d'obtenir une solution concentrée d'hypochlorite.

En opérant pendant 8 heures dans les conditions de l'expérience 5, l'auteur trouve que la concentration maximum n'est que 12,7 gr de chlore actif par litre.

Il semble que l'on peut faire un reproche à M. Oettel, c'est que, ayant reconnu l'influence réductrice de l'hydrogène, il n'ait pas essayé de la diminuer par un dispositif quelconque qui aurait eu pour but d'enlever l'hydrogène du bain aussitôt sa formation ; les résultats auraient pu être tout autres.

Avant de donner les résultats d'expériences sur les chlorates alcalins, M. Oettel a fait quelques recherches chimiques pour voir si l'équation



$$3\,NaClO = NaClO^3 + 2\,NaCl$$

qu'on donne pour expliquer la transformation de l'hypochlorite en chlorate est vraie.

Il constate d'abord que :

1° Le chlorate de potassium en solution acide (acétique) est fortement réduit par le manganèse et le zinc ;

2° Le chlorate de potassium en solution alcaline, n'est réduit que fort peu par l'aluminium.

Or, pendant l'électrolyse, la réduction du chlorate ne pourrait se faire qu'à la cathode, où la réaction est alcaline ; il en résulte qu'en électrolysant une solution de chlorate de po-

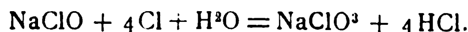
tassium on ne constate qu'une réduction insignifiante.

M. Oettel a ensuite cherché si l'hypochlorite se transforme à chaud en chlorate et ne trouve pas la vérification de ce fait.

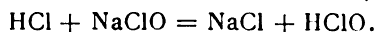
Mais si on dirige à froid un courant de chlore dans des flacons laveurs contenant une solution de soude ou de potasse, on constate que le chlore s'unit aux alcalis pour donner des hypochlorites, puis le chlore agit directement sur l'hypochlorite et le transforme en chlorate. Quand on juge la réaction terminée, on chasse par un courant d'air le chlore dissous et le titrage de la solution montre que tout l'alcali est transformé en chlorate et qu'il reste en solution un peu de chlore actif, sous forme d'acide hypochloreux peut-être.

La conclusion à tirer de ces essais, c'est que la formation des chlorates par l'électrolyse ne se fait pas suivant les réactions génés ralement admises. Suivant M. Oettel, il faut admettre que le chlore et la soude, formés dans l'électrolyseur, réagissent pour donner de l'hypochlorite ; celui-ci se diffuse dans le liquide et est en grande partie réduit à la cathode à l'état de chlorure de sodium.

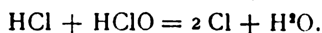
L'électrolyte contiendra toujours une partie d'hypochlorite non réduit, qui se trouve soumis à l'action du chlore de l'anode. Les réactions pouvant se produire seraient les suivantes :



$$NaClO + 4Cl + H^2O = NaClO^3 + 4HCl.$$



$$HCl + NaClO = NaCl + HClO.$$



$$HCl + HClO = 2Cl + H^2O.$$

Pour obtenir l'effet maximum, en ce qui concerne la fabrication des chlorates, il faut :

1° Que l'hypochlorite soit isolé de la cathode pour n'être pas réduit ;

2° Que la soude formée n'aille de la cathode à l'anode que lorsque l'hypochlorite produit antérieurement est transformé en chlorate.

On peut réaliser aisément ces conditions en employant un diaphragme et en envoyant la liqueur du compartiment négatif dans le compartiment positif ; on retombe alors sur les ennuis que donnent les diaphragmes et sur la diminution de rendement due à leur résistance.

On peut aussi travailler sans diaphragme et agir sur les facteurs suivants : alcalinité, température et densité de courant à l'anode et à la cathode, pour obtenir un bon rendement.

M. Oettell montre qu'on peut, un des facteurs étant donné, faire varier les trois autres, de manière à obtenir le même résultat. En admettant un voltage de 3,3 volts aux bornes de l'analyseur et en fixant l'effet utile du courant à 52 p. 100, il faudrait une force de 11,33 chevaux-heure électriques pour produire 1 kg de chlorate.

Vérification des compteurs d'énergie Elihu Thomson ;

Par E. O'Keenan [1].

Dans cet article l'auteur, chef du laboratoire de la Compagnie parisienne de l'air comprimé, expose les résultats des essais faits sur des compteurs Thomson ainsi que le procédé employé pour leur vérification sur le secteur électrique de cette Compagnie où le compteur Thomson est maintenant exclusivement adopté.

Les essais consistaient à soumettre le compteur à une puissance constante d'un nombre déterminé de watts légaux mesurés avec soin et à noter la puissance indiquée par l'appareil, puissance donnée par :

$$P = \frac{3\,600\,kn}{t},$$

où n est le nombre de tours du disque indiqués, k la constante de l'appareil et t la durée en secondes de l'essai.

Les résultats des essais faits à différents régimes sur un même instrument étaient

(1) *L'Industrie Électrique*, n° 129, p. 184, 10 mai 1897.

représentés graphiquement en portant en abscisses les watts légaux et en ordonnées les watts indiqués ; on avait ainsi la caractéristique du compteur.

L'examen des lignes obtenues a montré que dans tous les cas ces lignes étaient très sensiblement des droites et, par suite, avaient pour équations

$$y = A + Bx,$$

A étant une constante positive ou négative représentant l'ordonnée à l'origine, B le coefficient angulaire de la droite.

Pour un compteur parfaitement réglé on devrait avoir $A = 0$ et $B = 1$. On se rend compte facilement que si A est négatif, c'est que le moment moyen des frottements est plus grand que le moment du couple de l'action sur l'induit de la bobine inductrice mise en série avec celui-ci précisément pour compenser les frottements ; si A est positif c'est que l'inverse a lieu. Si B est plus grand que 1 c'est que les aimants agissant sur le disque frein sont trop faibles ou trop écartés ; si B est plus petit que 1, c'est que l'inverse existe. On pourra donc facilement régler le compteur.

Une conséquence intéressante de la forme linéaire de la relation entre les watts légaux et les watts indiqués est qu'il suffira de soumettre un compteur quelconque du même système à deux essais seulement pour avoir les valeurs des constantes A et B de ce compteur. Si en effet y_1 et y_2 sont les watts indiqués dans ces deux essais, x_1 et x_2 les watts légaux correspondants, on aura les deux équations :

$$y_1 = A + Bx_1, \qquad y_2 = A + Bx_2$$

qui donneront A et B. La détermination de la caractéristique d'un compteur est donc très rapide et peut se faire fréquemment chez l'abonné.

La caractéristique d'un compteur étant connue on peut s'en servir pour calculer le nombre de watts-heure légaux correspondant au nombre de watts-heure indiqués par le compteur, si l'on connaît en même temps la puissance sous laquelle fonctionne le compteur. Mais celle-ci est, en pratique, très variable et il est de toute nécessité de remplacer la caractéristique par un coefficient unique s'appliquant, avec une bonne approximation, à tous les régimes de marche. Pour le calcul de ce coefficient on emploie la méthode suivante :

Soit X la puissance maxima en watts pour laquelle est construit le compteur. Pour le régime moyen, ce compteur marquerait $\frac{X}{2}$ watts-heures s'il était parfaitement réglé ; en réalité il marque :

$$\frac{1}{X}\int_0^X (A + Bx)\,dx = A + B\frac{X}{2}.$$

Le rapport de l'énergie dépensée à l'énergie indiquée est donc :

$$\eta = \frac{X}{2A + BX},$$

et par conséquent il faudrait multiplier les indications par ce rapport η pour avoir l'énergie véritablement dépensée, si le compteur fonctionnait toujours à demi-charge. En adoptant cette valeur du rapport pour toutes les charges on ne commet qu'une erreur évidemment négligeable en pratique ; c'est ce que l'on fait. De plus lorsque ce facteur de correction est voisin de l'unité, ce qui a lieu généralement, le compteur, toujours réglé à l'avantage du consommateur, est considéré comme juste.

Dans ce qui précède on n'a envisagé que les essais de compteurs à deux fils ; lorsqu'on doit effectuer la vérification de compteurs à 5 fils, le problème se complique ; toutefois la même méthode est encore applicable.

On place successivement le compteur et le wattmètre étalon en dérivation sur chacun des quatre ponts formés par les 5 conducteurs de distribution ; pour chacun des ponts on obtient une caractéristique

$$y = A_1 + B_1x,$$

et l'on prend pour les coefficients A et B

de la caractéristique résultant du compteur à 5 fils les moyennes

$$A = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}{4},$$
$$B = \frac{B_1 + B_2 + B_3 + B_4}{4},$$

moyennes qui correspondent aux valeurs que l'on obtiendrait si la dépense d'énergie sur les quatre ponts était la même.

Il résulte des conclusions de l'auteur que la très grande majorité des compteurs Thomson vérifiés ont un coefficient η compris entre 1,05 et 0,95, que ce coefficient est généralement plus près de l'unité que de ces limites et que parmi les compteurs défectueux du secteur de la Compagnie parisienne de l'air comprimé les deux tiers sont au retard, par conséquent au bénéfice de l'abonné. J. B.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur le contournement apparent des obstacles opaques par les rayons X ;

Par A. Roïti [1].

M. Roïti a répété des expériences analogues à celles qu'a indiquées M. Sagnac. Il a montré l'action de la paroi de verre traversée par les rayons X, même avec les tubes focus, en prenant pour source une lumière quelconque éclairant un trou garni d'une lame translucide. Il obtient ainsi des effets analogues à ceux que donnent les rayons X.

A. B.

Action biologique des rayons X ;

Par Stefano Capranica [2]

M. Capranica a montré que l'exposition aux rayons X n'avait aucune influence sur les combustions organiques, l'action durant quatre heures par jour. Chez des animaux préalablement inoculés par le bacille de l'entérite aiguë, les rayons X dans les conditions précédentes n'ont produit aucune modification dans l'évolution de la maladie. A. B.

(1) *Atti della reale Accademia dei Lincei*, janvier 1897.
(2) *Atti della reale Accademia dei Lincei*, janvier 1897.

Entretien des accumulateurs à haute tension ;

Par L. Zehnder [1].

La construction et la formation de ces accumulateurs ont été décrites précédemment [2]. Il est préférable de former les plaques dans des bacs relativent grands où il est plus facile de vérifier la teneur du bain en acide ; l'intensité maxima du courant ne doit pas dépasser 0,1 ampère par élément, en commençant par 0,01 ampère et augmentant progressivement ; le courant de décharge ne doit pas non plus dépasser cette limite. Les plaques formées sont ensuite introduites avec précaution dans les bacs où elles doivent rester. Pour éviter que l'acide en coulant sur les plaques, n'entraine la matière active, on les lave à l'eau ; puis on chauffe à 120° les tiges de plomb qui réunissent les plaques entre elles pour chasser l'eau et on les frotte encore chaudes avec de la vaseline, ainsi que la partie des plaques qui n'a pas été transformée. Les fils de liaison en cuivre sont plongés dans les godets de mercure seulement jusqu'à la hauteur à laquelle ils doivent s'amalgamer ; on chauffe les autres parties pour vaporiser le mercure déposé à leur surface, ce qui oxyde le cuivre ; on le frotte ensuite avec la vaseline.

Pour remplir les récipients d'acide, sans en répandre, on met l'acide dans un flacon muni d'un siphon ; à la même hauteur que la branche d'écoulement débouche un tube qui se rend dans un flacon où une trompe à eau

(1) *Wied. Ann.*, t. LX, p. 47, 1897.
(2) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. I, p. 360 ; 1er décembre 1894.

fait le vide : de cette manière, le récipient ne peut déborder. Finalement, on verse par-dessus l'acide une couche d'huile de paraffine épaisse de 3 à 4 mm. Comme il est difficile à cause du petit volume des récipients de juger de l'état de la solution acide au moyen de l'aréomètre, il est préférable de remplacer chaque année cette solution.

Lorsque la batterie n'est pas en usage, le mieux est de laisser les éléments en parallèle, pourvu qu'ils soient bien isolés ; autrement, si on abandonne chaque élément à lui-même, ils se déchargent inégalement et il n'est pas commode de distinguer ensuite ceux qui sont encore bons. M. L.

Constantes diélectriques aux basses températures;

Par R. ABEGG (1).

Les constantes diélectriques ont été mesurées au moyen de l'appareil de Nernst (2). Le liquide est contenu dans un tube qu'on plonge dans un mélange réfrigérant d'éther et d'anhydride carbonique solide, mélange placé dans un récipient de Dewar (récipient à doubles parois, comprenant entre elles un espace vide d'air). Pour obtenir les températures intermédiaires entre la température ambiante et la température minima du bain, on retire le tube, avec le condensateur et le thermomètre et lorsqu'il a repris la température de la salle, on le remet dans le mélange; lorsque tout l'anhydride carbonique est fondu la température du bain se relève lentement et on obtient ainsi à un moment donné un état à peu près stationnaire, qui permet d'effectuer les mesures. La méthode employée fait connaître la conductibilité en même temps que la constante diélectrique.

Le thermomètre est comparé entre — 35° et + 35° au thermomètre à mercure normal; entre — 35° et — 70° (congélation du chloroforme), on interpôle au moyen d'une formule linéaire.

(1) *Wied. Ann.*, t. LX, t. 54, 1897.

(2) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 372 ; 23 mai 1896.

Résultats. — Les liquides soumis aux expériences sont le toluène, l'alcool amylique, l'acétone, l'alcool éthylique absolu (99,8 p. 100), l'alcool éthylique étendu de 1/10 d'eau en volume.

Le coefficient de variation du pouvoir diélectrique avec la température est d'autant plus grand que le pouvoir diélectrique est lui-même plus grand et par conséquent cette constante s'écarte d'autant plus du carré de l'indice de réfraction; en effet les expériences faites jusqu'à présent ne laissent pas supposer que l'indice croît comme le pouvoir diélectrique, lorsque la température s'abaisse.

Pour l'éther, l'alcool éthylique absolu et étendu, la variation est représentée avec une exactitude suffisante par la formule :

$$\frac{dD}{dT} = \frac{D}{190} \quad \text{ou} \quad D = ce^{-\frac{T}{190}};$$

pour l'alcool amylique les nombres calculés par cette formule concordent moins bien avec les nombres trouvés dans les expériences.

Le coefficient de variation de l'acétone, qui ne peut être mesuré avec la même exactitude à cause de la polarisation, est du même ordre de grandeur que les précédents. Le toluène, qui suit la loi de Maxwell, se comporte à cet égard comme les corps auxquels cette loi ne s'applique pas : son coefficient de variation est presque aussi grand à $-80°, \left(\frac{dD}{dT} = 0{,}0018\right)$ qu'à $+16°, \left(\frac{dD}{dT} = 0{,}0022\right)$.

Quelques expériences effectuées sur les mélanges d'eau et d'alcool ont montré que le pouvoir diélectrique pouvait se calculer d'après la règle des mélanges.

La conductibilité subit par l'abaissement de température des variations très différentes suivant les substances : dans les limites des mesures, la conductibilité de l'alcool éthylique varie de 15 à 1, celle de l'acétone de 3 à 1 seulement : on peut remarquer que l'alcool devient très visqueux, tandis que l'acétone reste fluide. M. L.

Induction magnétique dans des disques horizontaux tournant dans le champ magnétique terrestre ;

Par F.-F. Martens [1].

L'ellipsoïde est le seul corps qui s'aimante uniformément par induction dans un champ magnétique uniforme et on peut considérer un disque comme la limite d'un ellipsoïde de révolution qui s'aplatit indéfiniment, la longueur de l'axe qui n'est pas de révolution tendant vers 0. Les formules de Poisson permettent alors de calculer en chaque point le champ magnétique du disque, en fonction des coordonnées.

Expériences. — L'induction magnétique est mesurée par la méthode balistique et l'aimantation par la méthode magnétométrique. Le nombre des spires de fil enroulées sur chaque disque est choisi de manière que la déviation de l'aiguille du galvanomètre produite par un demi-tour du disque soit à peu près la même dans chaque cas.

Pendant les mesures de l'aimantation, le disque tourne continuellement sur lui-même, afin d'éliminer l'influence du magnétisme rémanent.

Par suite de l'hystérésis, le champ du disque tournant n'a pas exactement la même direction que le champ extérieur, mais est plus ou moins déplacé dans le sens de la rotation. L'auteur a cherché d'abord si cette déviation, cet entraînement du champ dépendait de la vitesse de rotation. Il fait agir le disque sur un magnétomètre, formé d'un système astatique faiblement aimanté. Pour éviter la production des courants de Foucault dans le disque, l'aiguille supérieure du système astatique est placée à peu près dans le plan du disque : l'aiguille inférieure est alors à une distance trop grande (16 cm) du disque, pour exercer une induction électromagnétique sensible. Comme on le verra plus loin, l'intensité est indépendante de la vitesse de rotation ; la déviation du disque dépend donc seulement de l'entraînement du champ dû à l'hystérésis. Or, dans aucune des expériences, cette déviation n'a pas varié de 0,3 p. 100 (limite de la variation appréciable) quand la vitesse de rotation passait de 200 à 2,5 tours par seconde. L'entraînement du champ ne dépend donc pas de cette vitesse, au moins entre ces limites.

L'entraînement du champ pourrait dépendre aussi de la matière du disque. Deux méthodes expérimentales ont été employées pour étudier cette influence : l'une est applicable seulement aux disques de grandes dimensions. Elle consiste à suspendre, au-dessus du centre du disque, un système astatique sur lequel le champ terrestre n'exerce aucune action directrice appréciable. En tout point de l'axe, le champ créé par le disque a la même direction que l'aimantation de celui-ci, par raison de symétrie, d'autre part ce champ est plus intense dans la région où se trouve l'aiguille inférieure et par conséquent le système s'oriente dans la direction de l'aimantation du disque ; quand on change le sens de la rotation, le déplacement angulaire est double de l'entraînement dû à l'hystérésis. Les courants de Foucault n'ont pas d'influence appréciable ; en effet, la déviation observée ne varie pas avec la vitesse ; l'entraînement ne dépend pas de cette vitesse, mais les courants de Foucault augmentent d'intensité quand elle augmente et feraient croître la déviation si leur action était sensible.

La deuxième méthode s'applique aux disques de petites dimensions. L'aiguille supérieure du système astatique est disposée suivant le prolongement du diamètre du disque qui est parallèle à la direction du champ terrestre. Près de l'aiguille inférieure se trouve une bobine de compensation dont l'axe est perpendiculaire à la direction du champ terrestre, et dans la direction de l'aiguille. Dans la région de cette dernière, le champ produit par le disque est pratiquement nul. On règle l'intensité du courant dans la bobine de manière que la position du

[1] *Wied. Ann.*, t. LX, p. 61-82 ; 1897.

système ne varie pas, quand on intervertit à la fois le sens de la rotation et le sens du courant. A ce moment le couple exercé par la bobine sur l'aiguille inférieure compense le couple exercé par l'entraînement du champ sur l'aiguille supérieure ; ce couple peut donc se calculer en fonction de l'intensité du courant et des dimensions de l'appareil.

Résultats. — Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

B représente l'induction magnétique ;
J l'intensité d'aimantation;
H′ la force magnétisant vraie ;
x la susceptibilité magnétique ;
φ la déviation.

Les différents disques sont désignés comme il suit :

I_a et I_b, disques en tôle décapée, recuits.

II_a et II_b, tôle employée par Siemens et Halske à la fabrication des armatures de dynamo ; l'échantillon II_b a été battu au marteau ;

III_a et III_b, tôle de fer au bois; III'_b a été soigneusement recuit ;

IV, scie circulaire trempée, dont les dents ont été coupées sur le tour ;

V, tôle de nickel, recuite ;

CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE $H = 0,186$

Ech.	Diamètre.	Épaisseur.	B	J	H′	x	φ
	cm.						
I_a	19,0	0,102	22,9	1,81	0,090	20,1	1°26′30″
I_b	4,654	0,104	7,68	8,61	0,052	11,8	1 0 15
II_a	4,614	0,056	11,24	0,89	0,080	11,1	2 43 30
II_b	4,641	0,054	12,65	1,00	0,071	14,1	1 49 50
III_b	4,629	0,204	4,32	0,34	0,038	9,0	1 4 35
IV	4,633	0,071	7.28	0.57	0,100	5.7	6 35
V	4,635	0,107	3,15	0,24	0,132	1,8	8 25

Viscosité magnétique. — La viscosité magnétique qui ne se fait pas sentir dans les expériences précédentes, apparait quand on cherche l'influence de la vitesse sur la susceptibilité du disque.

Le magnétomètre est disposé au sud-ouest du méridien du disque, en sorte que le champ du disque exerce sur l'aiguille supérieure qui se trouve dans son plan un couple dont les forces sont dirigées à peu près normalement à la composante horizontale du champ terrestre. Comme l'orientation de l'équipage astatique ne varie pas de 0,001, on en conclut que l'intensité du champ créé par le disque et par suite la susceptibilité magnétique de ce dernier ne varient pas de 0,001 quand la vitesse de rotation tombe de 200 à 2,5 tours par seconde. Quand la vitesse devient encore plus petite, l'équipage se met à osciller par suite du magnétisme rémanent et de la différence de susceptibilité dans les différentes directions. Pour calculer l'orientation que prendrait l'équipage si le disque s'aimantait également dans toutes les directions, on prend la moyenne arithmétique des orientations obtenues dans 25 positions du disque, équidistantes.

Dans toutes les expériences, la déviation moyenne ainsi calculée fut plus grande que la déviation observée pendant la rotation rapide du disque.

L'aimantation J_2 que prend le disque en repos au bout d'un certain temps est supérieure à l'aimantation J_1 qu'il prend pendant une rotation rapide, quand il passe par la même position : la différence varie avec la nature du métal, comme le montre le tableau suivant :

	I_b	II_a	II_b	III_a	III_b	IV	V	« Walzeisen ».
$\frac{J_2 - J_1}{J_1}$	3,3 %	3,4	0,5	0,9	0,8	0,2	0,4	24,1 %
$\frac{x_2 - x_1}{x_1}$	14,6	8,3	1,3	4,6	0,6	0,4	»	»

L'accroissement apparent de susceptibilité est plus faible pour les fers battus au marteau : ainsi les échantillons II_a et II_b sont identiques à cela près que II_b a été martelé Il est en général plus marqué dans le fer doux recuit. M. L.

CHRONIQUE

Action des rayons X sur les microbes et sur le cœur. — A la séance de l'Académie des Sciences du 3 mai dernier, MM. Sarrazès et P. Rivière communiquaient les résultats de quelques expériences qu'ils ont faites sur l'action biologique des rayons X.

Ceux-ci étaient produits par tube focus à double anode de M. Séguy excité par une puissante bobine de Ruhmkorff donnant, avec un courant d'une intensité de 16 ampères sous 16 volts, des étincelles de 35 cm de long. Avec ces rayons on pouvait obtenir des radioscopies à 3,5 m de distance et derrière une cloison en planches; dans les expériences les objets étudiés étaient placés à 15 cm environ des tubes.

Une première série d'expériences a porté sur le microbacillus prodigiosus, microbe particulièrement sensible aux changements survenus dans les conditions physico-chimiques de son développement, susceptible de traduire cette sensibilité par des modifications durables et d'une observation facile. Les cultures, d'un beau rouge carminé, étaient prélevées sur gélose et déposées, sous forme d'un petit amas acuminé, au centre d'un verre de montre stérilisé enveloppé de papier noir. Les rayons X s'exerçaient directement, à travers le papier, sur la semence, la cavité du verre de montre étant placée en regard de l'ampoule. On opérait de la même façon à l'aide d'une culture témoin, sauf que le verre de montre recouvert de papier noir était maintenu à l'abri des rayons X. Quotidiennement, pendant 20 jours, on a fait agir les rayons X, une heure durant, sur ce microbe; il était, immédiatement après, reporté sur gélose où les cultures en retour servaient, l'une après l'autre, à continuer l'expérience. De même on recommençait tous les jours et dans des conditions identiques la culture témoin. Les auteurs n'ont constaté aucune modification appréciable du microbe, ce microbe s'est montré indifférent aux rayons Rœntgen.

Une autre série fut faite sur les leucocytes. Deux grenouilles, ayant autant que possible le même volume, étaient fixées sur le liège à la manière ordinaire. Après cautérisation au thermocautère, pour éviter toute hémorragie, d'un point des téguments choisi au niveau de la partie moyenne de l'abdomen, on introduit dans la cavité péritonéale, par l'ouverture ainsi faite, un tube effilé lavé préalablement dans une culture de microbes fournissant des produits à chimiotaxie positive. Les deux grenouilles étaient entourées de papier noir; on soumettait l'une d'elles à l'action des rayons X. Les nombreuses expériences faites montrent que les rayons X ne gênent nullement l'afflux des globules blancs : leur nombre est sensiblement le même dans les deux cas et la phagocytose s'exerce également.

Enfin une dernière série d'expériences a été entreprise pour rechercher si les rayons X produisent sur les animaux à sang froid les troubles cardiaques que l'on a observés sur l'homme. Les tracés du cœur d'une grenouille placée au-dessous d'une source intense de rayons X ont montré que le rythme de cet organe n'était pas modifié dans ses périodes même après une exposition de plus d'une heure.

Sur l'action photographique des rayons Rœntgen. — L'effet produit sur une plaque photographique par un tube producteur de rayons Rœntgen est-il dû à une action directe de ces rayons où bien n'est-il qu'un résultat secondaire dû à la phosphorescence ou la fluorescence de la gélatine et de la lame de verre qui la supporte? L'une et l'autre opinion avaient et ont encore des partisans. Pour éclaircir la question M. R. Colson a fait plusieurs expériences décrites dans son volume *La plaque photographique* dont une analyse bibliographique a été donnée récemment.

Dans l'une de ces expériences deux plaques sensibles (Lumière, marque bleue) se recouvrent en partie, les gélatines en contact, et sont emballées dans quatre épaisseurs de papier noir; sur chacune une bande de gélatine a été enlevée de façon à mettre le verre à nu. Sur le dessus du papier est posée une règle métallique croisant les bandes dénudées de gélatine et le tout est exposé pendant une demi-heure aux rayons X qui proviennent d'un tube de Crookes éloigné de 6 cm, et excité par une bobine donnant une étincelle de 4 cm avec 3 accumulateurs. Les rayons qui tombent sur le verre de la première plaque peuvent être divisés en trois groupes : l'un A comprend les rayons limités par les bords de la bande dont la gélatine a été enlevée et qui arrivent sur la gélatine de la première plaque après avoir seulement traversé le verre de la première; un autre B est formé des

rayons traversant le verre et la gélatine de la première plaque et tombant sur la gélatine de la seconde ; le troisième C correspond à la bande de la seconde plaque dont la gélatine a été enlevée. Enfin un quatrième groupe D est constitué par les rayons qui arrivent directement sur la partie de la seconde plaque non recouverte par la première.

Le développement simultané des deux plaques montre que : *a*) l'impression de la plaque supérieure est uniforme, d'où il résulte que ni la couche sensible, ni le verre de la plaque inférieure n'ont émis de radiations secondaires provenant de phosphorescence ou de fluorescence, visibles ou invisibles, capables de produire l'effet photographique; *b*) la région de la seconde plaque soumise à l'action directe des rayons (faisceau D) est plus foncée que celle qui a reçu l'impression du faisceau A, et celle-ci plus foncée que le reste de la plaque, ce qui est explicable par l'absorption différente éprouvée par les rayons; de plus les bords de l'ombre produite par la règle métallique sont aussi nets dans toutes les régions et exactement dans le prolongement l'un de l'autre, ce qui tend à prouver que le verre de la première plaque n'a pas émis dans sa masse de radiations secondaires, car celles-ci se seraient propagées latéralement dans le verre de 1,5 mm d'épaisseur, entre la règle et la couche et auraient causé une impression à l'intérieur de l'ombre.

Toutefois on peut encore faire l'objection suivante : les rayons qui sortent de la première plaque sont-ils réellement des rayons X, ou des rayons secondaires que la première plaque émettrait en absorbant et transformant les rayons X ?

Pour répondre à cette objection, M. Colson a fait une seconde expérience où les deux plaques sont séparées en deux paquets distincts emballés dans du papier noir et disposées horizontalement, l'une au-dessus de l'autre, avec un écartement de 18 mm, les gélatines étant en regard, comme dans l'expérience précédente. Au-dessus du centre de la plaque supérieure est placé le tube de Crookes, à 4 cm, avec un diaphragme de 1 cm d'ouverture. Sur la plaque supérieure, au centre, est posée une pièce d'argent de 18 mm de diamètre, et, entre les deux plaques, près des bords, est placé un tube de cuivre vertical, ainsi qu'une boîte en carton renfermant un porte-monnaie.

Si ce sont les rayons X qui sortent de la première plaque, ils vont déterminer une image négative de la pièce, sous forme d'une ombre de 22 mm de diamètre, entourée d'une pénombre de 5 mm d'après le trajet de ces rayons en ligne droite ; ils formeront ainsi une certaine ombre du tube, et accessoirement, ils devront avoir la force de traverser le carton et le porte-monnaie en donnant une image de son contenu. Si, au contraire, ce sont des radiations secondaires, émises par la plaque supérieure, elles se transmettront dans toutes les directions à partir de chaque point de celle-ci frappé par les rayons X et impressionneront la deuxième couche à l'intérieur des ombres dont il vient d'être question.

Or la seconde plaque prend dans le révélateur une teinte foncée sur laquelle se détachent de la façon la plus nette les ombres et les pénombres ayant exactement la place et les dimensions prévues d'après le trajet des rayons X ; de plus, le carton et le porte-monnaie sont fortement traversés et laissent voir en blanc l'image des pièces. Par conséquent ce sont bien les rayons X qui agissent sur la deuxième plaque, et on est en droit de leur appliquer la conclusion de la première expérience ; c'est-à-dire qu'ils impressionnent *directement* le gélatino-bromure sur verre. D'ailleurs le papier au gélatino-bromure a donné les mêmes résultats.

Explication de quelques expériences de M. Le Bon. — A la séance du 10 mai de l'Académie des Sciences, M. Henri Becquerel présentait à ce sujet la note suivante :

« Les *Comptes rendus* d'une de nos dernières séances (t. CXXIV, p. 857, 20 avril 1897; *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 331, 8 mai 1897), contiennent une note de M. Perrigot dans laquelle, pour rendre compte de certaines expériences de M. G. Le Bon, l'auteur, après des remarques très judicieuses, invoque la transparence de l'ébonite pour la lumière blanche. Le fait de la transparence des lames d'ébonite employées dans ces expériences, pour des radiations actives, est indéniable, mais je me propose de montrer que les phénomènes observés ne sont pas dus à ce que nous appelons la *lumière blanche*, c'est-à-dire aux radiations utilisées le plus généralement pour la photographie, mais aux radiations rouges de l'extrémité la moins réfrangible du spectre et à des radiations infra-rouges pour lesquelles l'ébonite est très transparente.

» Une expérience que M. G. Le Bon (t. CXXIV, p. 892, 26 avril 1897) a décrite, en réponse à la

note de M. Perrigot, ne m'a laissé aucun doute à cet égard, et, dès lundi dernier, j'ai indiqué l'explication qui va suivre à nos confrères MM. d'Arsonval, Lippmann et Poincaré, j'en ai vérifié l'exactitude le lendemain par diverses expériences.

» Voici d'abord en quoi consiste essentiellement l'expérience de M. Le Bon à laquelle je viens de faire allusion : on prend une surface recouverte de sulfure de zinc phosphorescent, on l'expose à la lumière, puis on la couvre d'une lame d'ébonite sur laquelle on dispose, comme écrans, des objets divers, par exemple une pièce de monnaie, et l'on expose le tout au soleil pendant quelques secondes. En examinant ensuite, dans l'obscurité, la surface primitivement phosphorescente du sulfure de zinc, on trouve qu'elle est presque éteinte, sauf sous la pièce métallique où la phosphorescence est encore très visible. M. Le Bon a cru pouvoir conclure de cette expérience que le métal envoyait des rayons qui excitaient la phosphorescence.

» L'explication est toute différente. Ces rayons rouges et infra-rouges, envoyés par le soleil, traversent l'ébonite, et, comme on le sait depuis longtemps, éteignent la phosphorescence sur toute la surface lumineuse, sauf aux points qui sont protégés par l'écran métallique ; en ces points, la phosphorescence obtenue par l'illumination préalable ne tombe que lentement, comme elle le fait à l'obscurité, de sorte que l'observation finale montre la silhouette de l'écran se détachant lumineuse sur un fond très notablement obscurci.

» J'ai répété l'expérience non seulement avec une lame d'ébonite, mais encore en substituant à cette lame un verre rouge ; les résultats sont exactement les mêmes, et plus intenses avec le verre rouge qu'avec l'ébonite.

» Je me suis proposé ensuite de déterminer quelles étaient les radiations transmises au travers de l'ébonite. Je rappellerai qu'il résulte des expériences fort anciennes de mon père, et de celles que j'ai eu l'occasion de publier, que les rayons rouges et infra-rouges déterminent une extinction généralement précédée d'une excitation temporaire qui n'est pas visible avec le sulfure de zinc phosphorescent ou blende hexagonale. Si l'on projette un spectre sur la surface d'un sulfure phosphorescent, la région infra-rouge y apparaît en noir sur le fond lumineux, par suite de l'extinction provoquée par les radiations correspondantes, et j'ai montré que cette extinction présentait des maxima et des minima, variables, non seulement avec la nature de la source, mais encore avec la nature de la substance phosphorescente dont ils figurent le spectre d'absorption dans cette région.

» Pour la blende hexagonale, le spectre d'extinction s'étend depuis le rouge de la région visible jusque vers la longueur d'onde $1,9\,\mu$, présentant un minimum vers $1,1\,\mu$ et $1,2\,\mu$, et un fort maximum entre $1,3\mu$ et $1,4\mu$.

» Si l'on projette sur un écran de blende hexagonale, préalablement illuminée, un spectre obtenu avec des radiations solaires ayant traversé une lame d'ébonite de 0,6 mm d'épaisseur, on constate l'apparition immédiate de la bande d'extinction infra-rouge de $1,3\,\mu$ à $1,8\,\mu$; puis, au bout de quelques instants, on voit apparaître, un peu moins intense, l'extinction entre les longueurs d'onde $1,2\,\mu$ et le rouge extrême visible, près de A.

» En concentrant la lumière solaire avec une lentille, l'œil perçoit des rayons rouges voisins de l'extrémité visible du spectre solaire.

» L'ébonite est donc transparente pour les radiations qui éteignent la phosphorescence du sulfure de zinc, et l'explication de l'expérience de de M. Le Bon est bien celle que j'ai donnée plus haut.

» Si, dans cette expérience, on forme l'écran avec une substance arrêtant les rayons infra-rouges, comme les rayons rouges transmis sont très affaiblis, la silhouette de l'écran apparaît en clair sur un fond éteint ; si l'écran est formé d'une substance diathermane telle que le sel gemme, la totalité de la surface phosphorescente est éteinte, et la présence de l'écran ne se révèle que par les points où il a pu y avoir des réflexions totales. Ainsi que je l'ai dit plus haut, un verre rouge, ou toute substance laissant passer les rayons infra-rouges et arrêtant les rayons lumineux, bleus, violets et ultra-violets, qui excitent la phosphorescence de la blende, donnera les mêmes résultats si on la substitue à l'ébonite.

» Cette transparence, bien démontrée, permet de rendre compte dans tous leurs détails des expériences photographiques de M. Le Bon au travers de l'ébonite.

» On sait que mon père a montré, dès 1840, qu'une plaque photographique, insensible aux rayons jaunes, devenait sensible à ces rayons et

même aux rayons infra-rouges lorsqu'elle était exposée pendant un temps très court à la lumière, c'est-à-dire légèrement voilée. Les rayons rouges et infra-rouges *continuent* l'action commencée par la lumière blanche, bleue ou ultra-violette.

» Ce phénomène de continuation, découvert avec les plaques daguerriennes, se manifeste avec la plupart des couches photographiques sensibles et, en particulier, avec les plaques au gélatino-bromure d'argent.

» Dans les expériences de M. Le Bon, une plaque photographique préalablement voilée (c'est la condition essentielle de réussite des expériences), est exposée sous une lame d'ébonite à l'action des rayons solaires ou autres. Des écrans métalliques placés sur l'ébonite marquent leur silhouette lorsqu'on vient à développer la plaque. Dans ces conditions, la plaque photographique subit au travers de l'ébonite l'action continuatrice des rayons rouges et infra-rouges; les écrans métalliques protègent la plaque contre cette action ; si la pose a été relativement courte, le fond apparaît, au développement, plus foncé que la silhouette des écrans ; si la pose a été très prolongée, il arrive que par suite d'un phénomène de renversement bien connu, le fond paraît moins altéré que ne l'a été, dans la région protégée par les écrans, la plaque elle-même au moment de la production du voile préalable.

» Les rayons actifs, dans ces expériences de continuation, sont les rayons rouges extrêmes, voisins de A, car les plaques même voilées ne sont sensibles dans l'infra-rouge qu'à une petite distance de la raie A. Comme ces radiations sont très affaiblies par l'ébonite, les poses doivent être relativement très longues, et les phénomènes ne sont aussi nets que grâce à la grande sensibilité des plaques au gélatino-bromure.

» Les mêmes phénomènes s'obtiendraient en substituant à l'ébonite un verre rouge.

» J'ajouterai qu'une lame d'ébonite de 0,6 mm d'épaisseur, étudiée avec l'appareil de Melloni, laisse passer environ 0,04 de la chaleur obscure émise par une lame de cuivre à 400°, et arrête presque complètement le rayonnement d'une source à 100°.

» En résumé, les phénomènes que, d'après des expériences un peu complexes, M. G. Le Bon s'était empressé d'attribuer à une prétendue *lumière noire*, de nature inconnue, sont simplement des effets produits par les rayons rouges ou infra-rouges, dont les propriétés principales sont bien connues depuis plus de cinquante ans. »

Iuterrupteur pour bobines d'induction. — Les nombreuses recherches faites en tout pays sur les rayons de Rœntgen ont eu pour conséquences quelques perfectionnements à un vieil instrument de laboratoire : la bobine de Ruhmkorff. Toutefois ces perfectionnements semblent n'avoir porté jusqu'ici que sur le dispositif d'interruption.

Nous avons déjà décrit dans ces colonnes (t. X, p. 336, 13 février 1897) l'interrupteur à mercure imaginé par M. A. Londe ; MM. H.-L. Sayen et E.-G. Willyoung décrivent dans un des derniers numéros du *Journal of the Franklin Institute* (n° 143, p. 231, 235, 1897), un nouvel interrupteur à marteau qu'ils ont imaginé dans le début d'éviter deux des inconvénients de l'interrupteur ordinaire : d'une part, la lenteur relative avec laquelle se produit l'interruption du courant, celle-ci ayant lieu au moment où le trembleur a une vitesse presque nulle ; d'autre part, les irrégularités résultant de ce que le choc du trembleur contre la pointe de contact produisent des oscillations de ce trembleur troublant ses oscillations normales.

Pour cela le ressort vertical portant le marteau passe à travers un collier porté par l'extrémité supérieure d'une tige de cuivre parallèle à ce ressort et pivotée autour d'un axe placé à son extrémité inférieure ; c'est cette tige qui porte un contact en platine qui vient presser par l'action d'un ressort agissant sur la tige, sur la pointe de la vis de contact. Par suite du jeu existant entre le collier et le ressort, celui-ci n'entraîne la tige et par conséquent, ne rompt le contact que lorsqu'il a parcouru un certain chemin et acquis une certaine vitesse; dès lors la rupture du contact est plus brusque. De plus, les trépidations anormales du ressort, déjà diminuées par le fait qu'il ne frappe plus directement la vis de contact, sont amorties au moyen de garnitures en feutre.

L'emploi des courants biphasés dans l'industrie. — Dans une conférence faite le 20 décembre dernier à l'Association des ingénieurs-électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montéfiore et que publie le dernier *Bulletin* de cette Association (2e série t. VIII, p. 75 à 145), M. van der Wallen exposait, en son nom et en celui de

M. Mavroïdis, un travail intéressant sur l'emploi des courants biphasés dans l'industrie.

Commençant par la description des procédés et des appareils permettant d'obtenir des courants biphasés, continuant par celle des moteurs, synchrones et asynchrones, qui les utilisent et des transformateurs qui en modifient la tension, les auteurs abordent les canalisations dont il font une étude approfondie sous divers points de vue, et terminent par la description sommaire de quelques stations à courants biphasés.

Nous retiendrons seulement les conclusions des auteurs relativement au choix de la fréquence et aux avantages qui ont fait choisir les courants biphasés dans diverses usines importantes.

Pour le choix de la fréquence qu'il convient d'adopter on doit se laisser guider par les considérations suivantes : 1° le prix des alternateurs diminue en même temps que la fréquence ; 2° le prix de revient des transformateurs diminue également avec la fréquence ; seulement la surface de refroidissement est plus grande pour les petits appareils que pour les grands ; il en résulte donc qu'on peut adopter une fréquence plus grande pour les petits transformateurs que pour ceux de grande puissance ; 3° pour les moteurs les basses fréquences sont préférables ; elles réduisent la vitesse et facilitent le démarrage ; pour les transports d'énergie du Niagara, M. Forbes a adopté une fréquence de 16,67, laquelle à l'exécution des machines a été portée, par les constructeurs, à 25 ; 4° pour l'éclairage les hautes fréquences conviennent mieux ; on est allé jusqu'à des fréquences de 130 à 140 ; 5° pour le transport d'énergie et l'éclairage combinés la fréquence la plus avantageuse est voisine de 50 ; elle n'est pas excessive pour les moteurs et permet l'alimentation des lampes dans de bonnes conditions ; 6° pour la canalisation les basses fréquences sont préférables ; elles diminuent les effets d'impédance, de capacité, ainsi que l'effet Thomson.

Parmi les installations à courants biphasés, nous citerons, d'après les auteurs ; 1° celle des Aciéries de France à Isbergues (Pas-de-Calais), génératrice de 300 chevaux à 300 volts assurant l'éclairage (après réduction à 110 volts) et un transport d'énergie ; 2° celle de la Compagnie des docks et entrepôts du Havre, génératrice de 75 chevaux à 400 volts alimentant des moteurs de treuils ; 3° celle de MM. Oger et Cie à Bertaucourt-Epourdon (Aisne), 2 génératrices de 20 chevaux à 110 volts alimentant directement un réseau d'éclairage et, après transformation à 500 volts, un transport d'énergie ; 4° celles de la Fonderie et Hauts-Fourneaux de Bussy (Haute-Marne), de MM. Menier à Noisiel, de la Poudrerie nationale d'Angoulême, etc., faites par les établissements Weyher et Richemond ; 5° l'installation des papeteries de la Compagnie Vonwiller à Sésia (Italie) faite par la maison Brown et Boveri, où se trouvent 3 génératrices de 265 chevaux chacune à 3 600 volts et 83 périodes par seconde ; 6° celle des mines d'or de Sheba (Afrique Australe) faite par Johnson Phillips, de Londres, et comprenant 3 génératrices de 175 chevaux chacune à 3 300 volts et 100 périodes ; 7° l'installation de Buda-Pesth, faite par la maison Schukert, de Nuremberg ; 8° l'importante installation de Niagara-Falls.

Les raisons qui, dans presque toutes ces installations, on fait préférer les courants biphasés aux courants mono ou triphasés sont, suivant les auteurs : 1° les générateurs et moteurs biphasés ont une puissance spécifique plus grande et un rendement plus élevé que les générateurs et moteurs à courant alternatif simple ; 2° les moteurs biphasés ont un démarrage beaucoup plus facile que les moteurs monophasés ; 3° les générateurs et moteurs biphasés sont plus simples de construction que les alternateurs à trois phases ; 4° les installations par courants biphasés se prêtent mieux à des distributions mixtes de force et d'éclairage que celles faites par courants triphasés.

Comparant le courant biphasé au courant continu, les auteurs ajoutent : les alternateurs biphasés ont un rendement et une réaction d'induit identiques à celle des dynamos continues, le couplage en parallèle se fait pour ainsi dire avec la même facilité. De plus, ils coutent, y compris l'excitatrice, 10 à 15 p. 100 moins cher que les dynamos. Enfin, l'absence de collecteurs diminue les frais d'entretien. Quant aux moteurs, ceux à courants biphasés fonctionnent, aux phénomènes de self-induction près, comme un moteur shunt à courant continu et ont un rendement de 2 à 3 p. 100 supérieur à ces derniers, avec leurs appareils de démarrage ; ils ont à puissance égale, même prix que les moteurs à courant continu. Seulement leur vitesse de rotation étant moindre on simplifie les transmissions mécaniques et on réduit également les trépidations, ce qui peut avoir de l'importance dans les salles contenant beaucoup de machines.

Enfin, MM. van der Wallen et Mavroïdis signa-

lent la supériorité des courants biphasés sur le courant continu dans les installations minières et à ce propos citent les deux articles suivants du réglement relatif aux installations électriques à l'intérieur des mines à grisou de la 1re et de la 2e catégorie :

« A l'exception des appareils dépourvus de collecteurs et de balais et présentant une sécurité absolue dans les milieux grisouteux, les générateurs, récepteurs et transformateurs ne pourront être être établis que dans les puits, sous-bures, travers-bancs ou excavations diverses en pierre, en communication avec les puits, chambres et galeries ventilées par un courant d'air pur, n'ayant passé sur aucun chantier de travail et dans lesquels aucun afflux de grisou n'est à craindre.

« L'emploi des générateurs d'électricité est interdit. L'emploi des récepteurs et des transformateurs électriques dépourvus de collecteurs et de balais et présentant une sécurité absolue dans les milieux grisouteux sont seuls autorisés. »

En terminant les auteurs expriment l'espoir que les courants biphasés pourront bientôt être appliqués à la traction.

L'emploi de l'énergie électrique dans les chantiers de construction de navires. — A l'une des dernières séances de l'Institution of Naval Architects M. F. von Kodolitsch a lu un mémoire intitulé *Application of Electrical Transmission of Power in Marine Engineering and Shipbuilding* que nous résumerons aussi succinctement que possible.

En premier lieu, l'auteur examine les différents agents moteurs destinés à l'actionnement des machines-outils employées à bord d'un navire en construction ou dans le chantier même. Il admet, en raison de son expérience personnelle, que l'énergie électrique est celle qui convient le mieux à ce but, pour des questions de rendement mécanique d'abord, d'encombrement ensuite et enfin par la faculté qu'elle possède de pouvoir s'appliquer à tous genres de travaux.

Il énumère ensuite les différentes machines-outils portatives qui sont affectées au travail, sur place, des pièces entrant tant dans la construction de la coque d'un navire, que dans le montage de ses machines motrices. L'auteur a lui-même construit de nombreuses machines-outils portatives de ce genre auxquelles un moteur électrique est accouplé ; des perceuses, par exemple, montées sur chariot qu'un homme seulement suffit à déplacer, sont employées pour faire les trous de rivetage des plaques du pont alors que ces dernières sont en place.

La même machine sert à la fois à percer et aléser les trous, ces deux opérations ne nécessitant qu'un changement d'outil. En 24 heures un homme seul peut, avec son aide, percer 400 trous de 12 mm de diamètre dans des tôles de 12,5 mm d'épaisseur. Les plaques d'un pont blindé peuvent être traitées de la même façon mais avec des moteurs et outils plus puissants.

On sait que les fers cornières, à T, en Z sont aujourd'hui couramment employés par tous les constructeurs de navires, afin de diminuer les frais de rivetage. La perforation de ces fers peut être très rapidement exécutée à l'aide d'une poinçonneuse électrique portative dont le moteur, d'une puissance atteignant à peine 2 chevaux, est choisi à marche reversible afin d'exécuter les deux mouvements de levée et de descente des forets. Deux hommes suffisent à son fonctionnement.

Les bordés extérieurs ou les plaques de blindage sortant des ateliers ne sont jamais mis en place sans subir quelques retouches, aussi les machines-outils portatives trouvent-elles là une judicieuse application en ce qu'elles évitent bien souvent le transport à nouveau de ces lourdes masses à l'atelier. On peut effectuer les retouches avant de les mettre en place, soit qu'on les laisse sur le chariot soit qu'on les pose sur le sol près de l'endroit où elles doivent être utilisées.

Mais c'est surtout dans les travaux de réparation que l'on reconnaît l'avantage de posséder un agent moteur aussi souple que l'est l'électricité. Là, la question d'encombrement est d'une importance capitale, dans les cas où les réparations doivent s'effectuer sur place. On évite aussi la grande perte de temps résultant du démontage et remontage des pièces à réparer. L'auteur donne à ce sujet quelques détails sur les différentes machines-outils spéciales qu'il a construites dans ce but ; il cite plusieurs perceuses électriques avec lesquelles on a pu forer des trous de boulons dans des têtes de bielles et des logements de clavettes d'hélices dans l'arbre de couche d'un steamer avec un gain de 4 à 5 heures sur le temps exigé par les anciens procédés. Il décrit ensuite une raboteuse circulaire employée au redressement des cylindres ovalisés, puis une perceuse radiale employée également

pour les cylindres. D'autre part, il préconise l'emploi des treuils électriques, portatifs ou non, devant servir à remplacer les treuils à vapeur, dans le cas où les chaudières du bord sont toutes en nettoyage ou en réparation ; puis celui des pompes portatives électriques, comme pouvant être d'un secours précieux en cas d'accident. Revenant ensuite, aux machines et engins employés dans les chantiers. M. Kodolitsch énumère les avantages que l'on peut retirer des grues et cabestans électriques ; il termine par la description d'un ascenseur électrique, construit d'après ses plans, qui est employé pour monter des matériaux sur le pont des navires au lieu d'employer des palans ou de les transporter à bras par les escaliers extérieurs.

Essais d'un treuil électrique, pour mines, d'une puissance de 200 chevaux. — Ce treuil qui vient d'être installé au-dessus de l'un des puits de la Free Silver Mine, à Aspen (Colorado) est, nous dit *The Electrical Engineer*, de New-York, le plus puissant que l'on ait jamais construit.

Le tambour a près de 2 m de diamètre et est divisé en réas pouvant contenir chacun 450 mètres d'un câble plat de 10 cm de large sur 10 mm d'épaisseur formé d'une seule pièce. Sur le même axe que le tambour et faisant corps avec lui est claveté un volant denté engrenant avec l'une ou l'autre de deux roues correspondantes de l'arbre moteur, selon que l'on veut obtenir une grande ou moyenne vitesse. Cet arbre est placé horizontalement et repose sur des paliers indépendants. Chacune de ses extrémités porte un volant denté engrenant avec les pignons correspondants terminant les axes de chacun des deux moteurs électriques qui l'actionnent. Ces derniers sont deux moteurs multipolaires de la General Electric C°. L'un est d'une puissance de 100 kilowatts, l'autre n'est que de 60. Ils sont alimentés par du courant à 525 volts, provenant de la station centrale d'Aspen. En temps ordinaire, c'est-à-dire quand le treuil n'est pas soumis à de fortes charges, un seul moteur, celui de 100 kilowatts, suffit à son fonctionnement, l'autre est désengrené pour être couplé à différentes autres machines, telles que pompe, ventilateur, compresseur, etc., dont la disposition a été étudiée dans cette intention.

Dans le fonctionnement de ce treuil, un contrepoids est employé pour contre-balancer la charge, de sorte que la dépense d'énergie est assez faible relativement au poids de la masse enlevée. Ainsi pour élever 4022 kg du fond du puits à la surface 250 m avec une vitesse de près de 100 m par minute, le contrepoids étant (y compris le poids du câble) de 2321 kg, le travail effectué correspondait à 42,2 chevaux. A la descente, à vide, la puissance nécessaire était de 35,7 chevaux.

Ce treuil sert à l'extraction des matériaux ainsi qu'à l'épuisement de l'eau à l'aide de bacs spéciaux que l'on suspend au-dessous de la cage. Ce n'est pas, du reste, le seul treuil électrique qui soit en usages dans ces mines ; d'autres, commandés par des moteurs de 20 chevaux, sont placés en haut des plans inclinés où ils servent à la traction des bennes.

Grandeur des déplacements des membranes téléphoniques. — Dans l'*American Journal of Science* (3, p. 219, 222. 1897), M. C. Barus expose l'application qu'il a faite des interférences des radiations lumineuses à la mesure des déplacements d'une membrane téléphonique. Il a trouvé par cette méthode que le déplacement est de l'ordre du millionième de centimètre pour un son faible mais pouvant être distinctement entendu.

Le secteur d'éclairage électrique des Champs-Élysées (Paris). — Le Conseil d'administration de cette compagnie a donné lecture de son rapport sur les résultats d'exploitation de l'exercice écoulé devant l'Assemblée générale de ses actionnaires tenue le 26 février 1897. Nous n'en extrayons que les points essentiels.

Au cours de l'exercice 1896 il n'a été fait à l'usine que des travaux d'amélioration du matériel et de modification du tableau de distribution. L'usine, son outillage, ainsi que les terrains et logements figurent au bilan de 1896 pour la somme de 1 758 887,24 fr contre 1 650 442,83 fr en 1895.

Les longueurs des voies canalisées étaient au 31 décembre 1896 de 67 783,9 m en augmentation de 7 015,9 m sur le chiffre de l'année précédente.

Le coût total des canalisations est de 1 967 081,61 fr contre 1 800 850,41 fr en fin d'année 1895. Les branchements, au nombre de 787 contre 570 en 1895, y compris les transformateurs et compteurs en service chez les abonnés, immobilisaient un capital de 1 092 487,79 fr. Au 31 décembre 1895 le capital immobilisé n'était que de 800 797.84 fr.

Le nombre total des polices d'abonnement souscrites représentait 127 842 lampes à incandescence 118 lampes à arc et 220,5 chevaux de force. L'augmentation sur l'exercice précédent a été de 33 187 lampes et 158 chevaux de force. Pour les abonnements en cours seulement, si on ramène l'intensité moyenne des lampes à 10 bougies, l'équivalent était, non compris la force motrice, de 119 314 lampes. La puissance totale des moteurs représentait 174,5 chevaux ou l'équivalent de 5500 lampes de 10 bougies ; cette puissance était répartie entre 50 moteurs et 45 abonnés.

L'exercice 1896 accuse un produit net d'exploitation de 8 421 02,65 fr duquel il a été prélevé 6 p. 100 pour être réparti à titre de gratification entre le personnel de l'usine. Le directeur reçoit pour sa part 1 p. 100 le reste est destiné à être réparti entre les employés et ouvriers. Il a été de plus décidé qu'en raison de la trop courte durée de la concession pour pouvoir créer une caisse de retraite, le personnel bénéficierait ainsi, tous les ans, aux produits nets de l'exploitation.

Après la lecture du rapport du commissaire fournissant l'explication des dépenses et pertes encourues pendant le cours du dernier exercice, on a procédé à l'élection du conseil. Les administrateurs de la compagnie sont, pour la présente année, MM. Baeyens, en remplacement de M. E. Puissant, et M. Weyer, administrateur sortant.

M. Ad. Ferré, est nommé commissaire, pouvant, éventuellement, être remplacé par M. Bouley.

La fabrication électrolytique des alcalis et du chlore. — A la séance du 31 janvier dernier de l'Association des ingénieurs-électriciens sortis de l'Institut électro-technique Montefiore, M. Bayet donne lecture d'une note sur « la fabrication par l'électrolyse des alcalis et chlorates alcalins » publiée dans le dernier fascicule du *Bulletin* de cette association (p. 153 à 185).

Après quelques généralités sur l'électrolyse des chlorures alcalins et la description de quelques-uns des nombreux appareils proposés pour effectuer industriellement cette électrolyse en vue d'obtenir l'alcali et le chlore, l'auteur aborde une question importante, celle de savoir si le procédé électrochimique est économique. Voici ce qu'il dit à ce sujet :

M. Hausserman a traité ce problème d'une manière complète dans un article paru dans le *Zeitschrift fur Elektrochemie*, t, II, travail qui est résumé dans le deuxième supplément au Dictionnaire de Wurtz, p. 426 et 427. L'auteur prend comme exemple une usine produisant par jour 5000 kg de soude caustique à 96 p. 100 et la quantité correspondante de chlorure de chaux, soit 12 500 kg. Aux prix de vente actuels, la production journalière donnerait :

5000 kg de soude caustique à 50 fr la tonne.	1250
12500 kg à chlorure de chaux 200 fr la tonne.	2500
	3750

soit un bénéfice de 1227 fr par jour ou 440 000 fr par an environ.

Le prix de l'usine à vapeur serait, d'après Hausserman, de 1 200 000 fr et de 1 800 000 fr d'après l'auteur de l'article du supplément de Wurtz, qui envisage le cas d'une usine marchant avec des moteurs à gaz pauvre ; je ferai seulement remarquer que l'augmentation de 60 000 fr qu'on trouve dans la seconde estimation provient moins de l'emploi de moteurs à gaz pauvre que de ce que l'auteur a calculé plus largement les dépenses. L'emploi des moteurs à gaz pauvre est au contraire à conseiller.

Les calculs de M. Hausserman se rapportent au cas de l'électrolyse directe, c'est-à-dire avec diaphragmes et sans mercure. Au point de vue économique, à part la question de l'usure des diaphragmes et des pertes de mercure, le système au mercure a l'avantage de donner des solutions plus concentrées que les procédés directs, et il en résultera donc une économie dans la dépense du charbon nécessaire pour produire la concentration et l'évaporation des solutions.

Doit-on faire de la soude ou du carbonate de sodium, produit dont l'industrie a besoin en si grande quantité ?

Les procédés Hargreaves-Bird et Parker-Robinson produisent directement le carbonate de sodium et la concentration des solutions s'obtient en faisant arriver, par un moyen facile à imaginer, les solutions en contact avec les gaz perdus des chaudières. On obtient ainsi des cristaux de carbonate de sodium mélangé de chlorure; on les redissout dans la quantité d'eau nécessaire; le chlorure cristallise et est repris pour être employé ; puis on laisse cristalliser le carbonate.

Il y a donc ici économie de combustible, la

solution pouvant sans inconvénient être mise au contact du gaz des chaudières chargés d'anhydride carbonique, et en second lieu on recueille un poids plus grand de $NaCO^3$ que de NaOH pour la même dépense d'énergie électrique. Il n'est donc pas impossible qu'on ait plus d'avantage à produire le cabonate de soude que l'hydrate.

En tout cas, il est un fait important sur lequel il est bon d'attirer l'attention, c'est que dans la fabrication électrolytique de la soude, le chlorure de chaux n'est pas un sous-produit, mais que, bien au contraire, c'est le produit principal, car, ainsi que nous l'avons vu plus haut dans l'exemple choisi, la vente journalière du chlorure de chaux est de 2 500 fr, tandis que celle de la soude atteint juste la moitié de ce chiffre soit 1 250 fr. Il en résulte que le jour où le blanchiment électrique sera devenu plus économique que le procédé actuel au chlorure de chaux, il faudra trouver une autre utilisation du chlore dégagé pendant l'électrolyse, sous peine de voir disparaître la fabrication électrolytique de la soude.

L'auteur termine sa communication par une analyse d'un travail de M. Oettel sur la fabrication électrolytique des chlorures alcalins sur laquelle nous reviendrons dans une autre partie de cette Revue. (Voir page 415.)

La fabrication de l'aluminium à Foyers. — A la seconde réunion annuelle des sociétaires de la British Aluminium C°, réunion qui a eu lieu à Londres le 8 avril 1897. Ch.-R.-W. Wallace a retracé sommairement les opérations de la Compagnie depuis sa formation et a annoncé que pour la première fois il y avait des bénéfices à partager (171 377,25 fr). Les demandes d'aluminium croissent de jour en jour; cependant la compagnie tient à maintenir ses premiers tarifs jusqu'à ce que la production ait acquis plus d'importance. Elle a l'intention de construire à cet effet une seconde station hydraulique dans le pays de Galles. Une partie du courant engendré dans cette usine sera vendue à l'Acetylene Illuminating C°. Déjà, dans le courant de l'année dernière, elle a ouvert une fabrique de charbons électrolytiques à Greenock. Le rapporteur conclut en disant que des arrangements ont été pris avec les producteurs français et américains afin d'éviter tout désaccord dans les opérations extérieures.

Emploi de l'aluminium dans le coulage de la fonte. — A l'une des dernières réunions de l'American Foundrymen's Association, M. J.-A. STEINMETZ a donné lecture d'une très intéressante note sur l'emploi de l'aluminium dans le coulage de la fonte.

D'après l'auteur, l'emploi de l'aluminium dans la métallurgie du fer, aurait été indiqué dès 1858, époque à laquelle ce métal appartenait exclusivement au domaine du laboratoire. Toutefois, les premières applications pratiques de l'aluminium dans l'industrie métallurgique qui nous occupe ne remontent guère au delà de l'année 1885, année où les fameuses fontes Mitis firent leur apparition. Actuellement il est employé dans presque toutes les usines métallurgiques d'Amérique et dans certaines fonderies d'acier on en utilise jusqu'à 2 tonnes par jour. On sait, en effet, que ce métal joue le rôle d'un désoxydant énergique.

Son emploi dans le coulage de la fonte est relativement beaucoup plus restreint. En général, l'aluminium le plus pur qu'il soit possible d'obtenir convient le mieux à toute application de ce genre. De plus, il serait préférable de l'employer sous forme de ferro-aluminium, d'abord pour éviter des pertes de métal et ensuite pour obtenir un mélange plus homogène dans le creuset de coulée.

Ajouté en petite quantité, l'aluminium paraît augmenter la fluidité de la fonte blanche, alors qu'une proportion d'un demi p. 100 semble exercer une action contraire. Il en est également ainsi pour la fonte grise.

D'un autre côté, l'addition d'une faible quantité d'aluminium au contenu d'un creuset exerce une action très marquée sur le métal fondu en le maintenant fluide pendant un temps très long, parfois double de la durée ordinaire de fluidité. Cet avantage est surtout très important en ce que pendant le coulage. le métal ne se solidifie pas avant que le creuset soit entièrement vide. Il en résulte que les pièces obtenues ont une meilleure homogénéité et ont beaucoup moins de chances d'être manquées.

Cette application est surtout recommandable dans les fonderies où l'on coule un assez grand nombre de petites pièces avec le contenu d'un seul creuset.

Le carbure de calcium et l'acétylène en Angleterre. — Dans une conférence qu'il vient de faire

à Londres, le professeur V. B. Lewes a exposé la situation de l'industrie du carbure de calcium et de l'acétylène en Angleterre. Il attribue le prix encore trop élevé du carbure à l'insuffisance de la production et blâme à ce sujet les installateurs et vendeurs d'appareils qui ont le tort de se prononcer trop vite sur la vente, soi-disant prochaine, du carbure à 175 fr la tonne et même à 37 et 38 fr, alors que, il y a peu de temps, l'on ne pouvait guère s'en procurer qu'au prix de 750 fr. Il est fort probable, ajoute l'orateur, que ce prix excessif, dû à la crise que l'industrie du carbure de calcium traverse en ce moment, reviendra au taux primitif de 400 fr la tonne; mais d'ici là, si on considère le dernier prix de vente auquel l'Acetylène Illuminating Company a fixé ses produits, il faudra payer le carbure 700 fr la tonne ou 0,70 fr le kilogramme. (Faisons observer qu'en France la tonne de carbure de calcium est vendue environ 500 fr. prise aux usines.)

M. Lewes donne ensuite quelques détails d'expériences relatives à la fabrication du carbure de calcium dans l'usine de l'Acetylène Illuminating C°. Il a trouvé que dans un mélange de 60 parties de chaux et 40 de charbon fournissant environ 50 kg de produit brut on recueillait un bloc de carbure pur représentant environ 81 p. 100 du poids total; le reste était une croûte de qualité inférieure. Un kilogramme de ce carbure, constitué par plusieurs échantillons, a fourni 298 litres de gaz et par suite contenait environ 89,2 p. 100 de carbure absolument pur.

Le traitement au four électrique a duré 3 heures et demie pendant lesquelles, en employant un courant de 1 000 ampères sous 60 volts, la consommation totale d'énergie a été de 89 chevaux électriques.

M. Lewes prétend qu'en général le gaz que fournit le carbure fabriqué en Angleterre est très pur; c'est à peine s'il contient 2 à 3 p. 100 d'hydrogène sulfuré, tandis que le gaz fourni par certains échantillons provenant du continent accusaient à l'analyse la présence de 6 à 9 p. 100 d'impuretés. Parmi celles de ces impuretés qui présentent le plus d'inconvénients dans l'emploi de l'acétylène est le phosphure d'hydrogène. Tous les carbures fabriqués avec de la chaux phosphatée en contiennent plus ou moins. En conséquence, le conférencier conclut que les matériaux entrant dans la fabrication du carbure devraient être rejetés s'ils présentent des traces de phosphates. Il entre ensuite dans différentes considérations relatives aux générateurs de gaz et aux installations en général que nous délaissons intentionnellement comme étant déjà suffisamment connues de nos lecteurs.

La consommation du cuivre en Allemagne. — D'après le bilan annuel de la consommation du cuivre en Allemagne, dressé par MM. Aron Hirsch et C[ie], *The Engineering and Mining Journal* estime à 73 123 tonnes métriques le poids du cuivre importé dans cette contrée pendant l'année 1896. Ce poids se décompose ainsi, suivant la nature ou l'état du métal : 59 993 tonnes de cuivre en barres, 5 000 tonnes en minerai pur et le reste soit 8 130 tonnes en pyrites. Ces dernières sont importées, en majeure partie, d'Espagne et de Portugal. La production du cuivre, en Allemagne même, s'est élevée à 29 700 tonnes. La quantité exportée sous formes diverses, pendant le cours de cette même année, est évaluée à 12 452 tonnes.

Le tableau suivant, dressé pour 4 années consécutives depuis 1893, donne les quantités de cuivre tant importées que produites annuellement.

	1893 tonnes	1894 tonnes	1895 tonnes	1896 tonnes
Importation (sous formes diverses. . . .	51 806	52 504	59 742	73 123
Production	24 011	25 857	26 013	29 700
Totaux. . . .	75 817	78 361	86 775	102 823
Déduction faite de :				
Exportation moyenne	11 304	10 406	10 893	12 452
Production d'après les minerais importés .	4 000	5 000	4 500	5 000
	15 304	15 406	15 393	17 452
Il reste pour l'importation totale. . . .	60 513	62 955	70 362	85 371

L'année 1896 accuse donc une augmentation de 15 009 tonnes, soit 16,3 p. 100 sur l'année précédente. La plus grande partie du cuivre importé provient des mines de Mansfeld. Le reste est fourni par petites quantités et provient d'un assez grand nombre d'endroits.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XI. Samedi 29 Mai 1897. 4e Année. — N° 22.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

ÉTUDE DES DÉCHARGES (1)

ÉGALITÉ DES POTENTIELS EXPLOSIFS STATIQUE ET DYNAMIQUE

§ I. Application de la méthode des deux excitateurs dérivés

Il nous reste à justifier l'égalité des potentiels explosifs statique et dynamique d'un excitateur à surfaces polaires polies et placées à l'abri des radiations ultra-violettes.

Nous avons déjà vu que la vérification directe de cette égalité est impossible ; nous nous bornerons donc à indiquer quelques preuves indirectes.

L'une des conséquences les plus immédiates de ce principe est la suivante :

Si les potentiels explosifs des deux excitateurs sont égaux au point de vue statique, ils sont égaux au point de vue dynamique, quelles que soient les différences de forme et, dans une certaine mesure, les différences de dimensions des excitateurs employés.

Si le potentiel explosif dynamique V' d'un excitateur est égal au potentiel explosif statique V, multiplié par un certain rapport k, différent de l'unité, il est naturel de penser que ce rapport k doit varier d'un excitateur à l'autre ou d'un potentiel dynamique à un autre, ce qui contredirait la proposition précédente.

La constatation de l'exactitude de cette proposition apportera donc une preuve en faveur de l'égalité des potentiels explosifs statique et dynamique.

J'ai fait un grand nombre d'expériences de comparaison à l'aide de la méthode des deux excitateurs dérivés, en employant deux excitateurs de forme et de courbure très différentes ; je prenais les précautions minutieuses indiquées précédemment.

J'ai pris pour excitateur E des excitateurs à boules de 1 cm, 1,67 cm, 2 cm de diamètre en laiton; pour excitateur N des sphères de 5 mm, 3 mm, 1 mm de diamètre, en laiton, des boucles de fil de laiton, de 1 à 2 mm de diamètre, courbées en cercle de 1 cm de diamètre, enfin, des pointes en cuivre de courbure très forte mais non mesurée.

Je ne rapporterai que quelques expériences qui ont toutes confirmé la proposition précédemment énoncée, *si les excitateurs chargés statiquement ne donnaient pas d'effluves ou d'aigrettes.*

Si la distance explosive des excitateurs à forte courbure est assez grande pour que l'électricité s'en échappe sous forme d'effluves ou d'aigrettes, le potentiel explosif statique de ces derniers *est en général plus grand* que le potentiel explosif dynamique, la distance

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* des 8, 15 et 22 mai, p. 289, 337 et 397.

explosive dynamique est plus petite que la distance explosive statique.

a). *Expériences sur des excitateurs n'émettant pas d'effluves.*

C_1, C_2, grosse jarre de 0,005 microfarad de capacité.

B_1, B_2, les bobines B_1 et B_2 en série;

I, sphères de 2 cm de diamètre en laiton;

E, demi sphères de 1 mm de diamètre, en laiton; } protégées contre les radiations ultra-violettes

N, sphères de 1 cm de diamètre en laiton. }

I = 4 mm.

Opérations sur les excitateurs.	Nº d'ordre des expériences.	Distance explosive de N en mm.	Distance explosive de E en mm.	Mode de charge de E et N.	Excitateur dérivé auquel l'étincelle éclate.
On polit N et E	19	3	7,15	D	N
	20	»	7,05	»	»
	21	»	»	S	»
	22	»	6,9	»	E
	23	»	7,05	»	»
	24	»	»	D	N
On repolit N et E.	25	»	»	»	E

Remarque. — Les expériences 20 et 21, 23 et 25 démontrent la proposition.

Pour mettre en évidence l'influence des dimensions ou de la capacité électrique de l'excitateur, on emploie la même disposition, avec les modifications suivantes:

E, sphères de 1,65 cm de diamètre, en laiton, vissées directement sur un excitateur de M. Mascart, muni d'écrans métalliques; N, sphères de 1,65 cm, de laiton, vissées sur isolant, munies d'écrans en paraffine; les surfaces polaires de N et E sont donc identiques mais les dimensions de E beaucoup plus grandes (fig. 15).

La distance explosive de E, se déchargeant pour le même potentiel que N, est comprise entre E = 3,2 mm et E = 3,3 mm *pour la décharge statique*, E = 3,1 et E = 3,2, *pour la décharge dynamique.*

Donc, quand la capacité électrique de l'excitateur augmente, le rapport de la distance

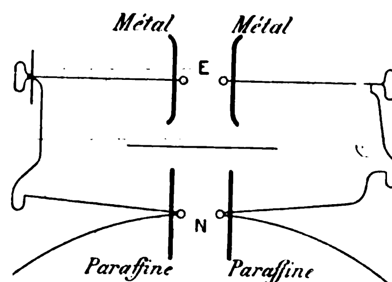


Fig. 15.

explosive dynamique à la distance explosive statique diminue $\frac{1}{32}$ environ, dans l'expérience actuelle.

En résumé, au point de vue pratique, on pourra considérer la proposition comme vérifiée.

b). *Expériences dans lesquelles l'un des excitateurs émet des effluves.*

Comparaison de l'excitateur N formé de sphères de 1,65 cm avec un excitateur E formé de deux demi-sphères de 1 mm de diamètre *émettant des effluves* dans la charge statique.

La distance explosive N restant constante et égale à 4 mm, la distance explosive de l'excitateur E se déchargeant pour le même potentiel que N est comprise:

Entre E = 11 mm et E = 12 mm pour la décharge statique;

Entre E = 8 mm et E = 9 mm pour la décharge dynamique.

On peut interpréter les résultats précédents en disant que *la décharge statique par étincelle est facilitée si elle est précédée par une effluve ou une aigrette.*

Dans la charge statique de l'excitateur, l'effluve agit beaucoup plus longtemps que dans la charge dynamique; en général, on entend un petit crépitement et l'étincelle suit aussitôt.

Les expériences précédentes rappellent les expériences de M. Lodge sur la protection

exercée par les pointes contre la foudre [1]. M. Lodge montre, en particulier, que les pointes protègent moins bien dans les décharges dynamiques (impulsive rush) que dans les décharges statiques (steady strain). Nos expériences peuvent s'interpréter de la même façon ; elles montrent, en outre, que les résultats de M. Lodge sont limités aux excitateurs de courbure et distance explosive suffisantes pour émettre des effluves ou des aigrettes.

Observation. — Ces expériences ont maintes fois présenté de très grandes difficultés. Lorsque les excitateurs ont un faible rayon de courbure (sphères de 1 mm de diamètre, par exemple), le frottement des surfaces polaires par la toile d'émeri déforme rapidement les pôles et la distance explosive de l'excitateur équivalente à celle d'un excitateur à sphères de 1 cm de diamètre varie ; il faut parfois plus d'une heure pour faire la comparaison de deux excitateurs pour un potentiel explosif déterminé.

Malgré les précautions contre la lumière ultra-violette et le polissage des pôles, il m'est arrivé, surtout au début de ces recherches, de constater que les deux distances explosives statique et dynamique d'un excitateur E équivalentes à une distance explosive déterminée N différaient de plus d'un dixième de millimètre. Ces divergences sont dues à des causes accidentelles ; on ne peut les reproduire systématiquement et on constate des divergences analogues dans la comparaison de deux excitateurs géométriquement identiques. L'expérience montra, dans la suite, que les écarts observés étaient dus à une effluve mal cachée ou à un défaut de polissage des pôles. Je signalerai deux exemples.

Dans la comparaison de l'excitateur E à pôles de 1 mm de diamètre, avec un excitateur N à pôles de 1 ou 2 cm de diamètre, je trouvais que les deux distances statique et dynamique de E, équivalentes à la distance N, pouvaient différer de 2 ou 3 dixièmes de millimètre. Au bout de quelque temps, je trouvais la cause du désaccord. Les pôles de 1 mm de diamètre étaient vissés sur la tige isolante serrant les fils de décharge, comme l'indique la figure 10 p. 12, où les pôles et les fils sont seuls représentés ; de l'un des pôles E, on pouvait voir la partie fortement courbée *f* du fil de décharge en contact avec le pôle E_1 ; le renflement *r* du pôle était insuffisant pour cacher entièrement le fil *f*. En plaçant, entre le fil et le renflement, une flotte en clinquant d'un diamètre suffisant pour cacher les fils *f*, comme on le voit en F, les divergences signalées disparaissaient.

En comparant des sphères de fer avec des sphères de laiton, on observait des perturbations dues à l'adhérence relativement grande de l'oxyde de fer produit par les étincelles ; un léger frottement à la toile d'émeri ne l'enlève pas, comme pour le laiton.

Enfin, il m'est arrivé, certains jours, de constater des différences de 1/10 de mm environ entre deux distances statique et dynamique de 3 à 4 mm, qui auraient dû être égales, d'après la proposition à vérifier. Je ne parvenais pas à découvrir positivement les causes de la perturbation ; mais, comme l'inégalité disparaissait dans la suite, dans des expériences identiques, j'attribuais l'écart observé à une cause accidentelle, une effluve mal cachée, par exemple.

La grande majorité des expériences confirme la proposition et les différences observées ne suivent aucune apparence de loi et sont d'ailleurs négligeables, au point de vue pratique.

§ II. Application de la méthode de M. Jaumann

1° *Principe des expériences.*

M. Jaumann a réalisé (*loc. cit.*) un certain nombre d'expériences que nous répéterons sous une forme peu différente ; en voici le principe.

(1) O. Lodge. *Lightning guards*, etc., p. 54.

Soit un condensateur C en équilibre électrostatique. La différence de potentiel entre ses armatures C_1, C_2 est V. Augmentons brusquement la capacité du condensateur C, en joignant ses armatures C_1, C_2 aux armatures γ_1, γ_2, d'un second condensateur γ, primitivement à l'état neutre (fig. 16). Au bout d'un temps excessivement court, un nouvel état d'équilibre s'établit : la différence de potentiel entre les armatures C_1, C_2, et γ_1 γ_2 devient V_1.

Si C et γ désignent les capacités des condensateurs C et γ, on a :

$$CV = (C + \gamma) V_1.$$

La différence de potentiel entre les armatures de C baisse de :

$$\Delta V = V - V_1 = \frac{\gamma}{C + \gamma} V.$$

La différence de potentiel entre les armatures de γ passe de o à $V_1 = \frac{C}{C + \gamma} V$.

Entre les deux états d'équilibre, le condensateur C se décharge partiellement dans le condensateur γ et, suivant la nature et la forme des circuits qui relient les armatures respectives des condensateurs, la décharge peut être continue ou oscillatoire.

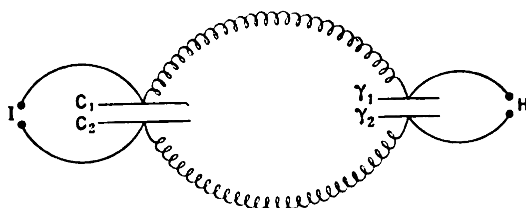


Fig. 16.

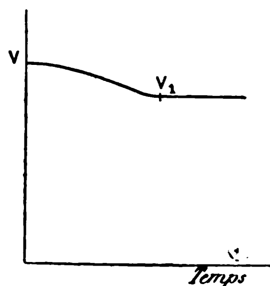


Fig. 17.

Si la décharge est continue, la différence de potentiel entre C_1, C_2 diminue d'une façon continue jusqu'à atteindre le potentiel V_1 (fig. 17) et la différence de potentiel entre les armatures γ_1, γ_2 augmente d'une façon continue de o à V_1 (fig. 18).

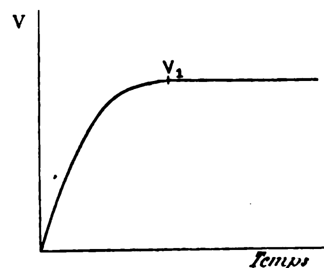


Fig. 18.

Si la décharge partielle est oscillatoire, la différence de potentiel entre les armatures C_1, C_2, atteint sa valeur finale V_1 par une série d'oscillations d'amplitude décroissante (fig. 19) ; la différence de potentiel entre γ_1, γ_2, passe de o à V_1 en exécutant plusieurs oscillations (fig. 20).

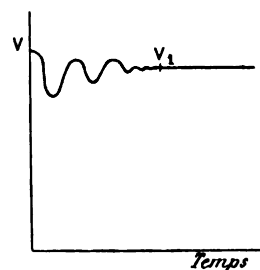


Fig. 19.

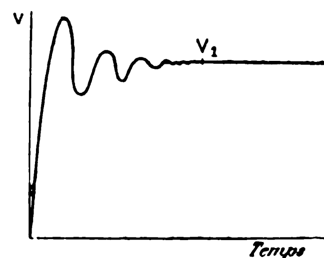


Fig. 20.

Si les pôles d'un excitateur I communiquent respectivement avec les armatures C_1, C_2 de C

par des fils métalliques très courts, pendant la décharge la différence de potentiel entre les pôles de I sera, à chaque instant, la même qu'entre les deux armatures. Les figures 19 et 21 représentent la variation du potentiel entre les pôles de I.

De même, si les armatures γ_1, γ_2 de γ communiquent respectivement avec les pôles d'un excitateur H par des fils très courts, entre les pôles de H il existe, à chaque instant de la décharge, la même différence de potentiel qu'entre les armatures γ_1, γ_2. Les figures 20 et 22 représentent la variation du potentiel de H.

Si les excitateurs I et H ne sont pas reliés de cette façon aux armatures des condensateurs, les différences de potentiel entre H et I subissent des variations analogues, mais non identiques, aux variations des armatures.

Cela posé considérons le condensateur C chargé au potentiel statique V et déchargeons le partiellement dans γ. Examinons ce qui se passe pour les deux excitateurs I et H. Étudions, d'abord, l'excitateur I :

1° *Il ne se décharge pas :* c'est que l'un quelconque Φ' des potentiels dynamiques de la décharge reste inférieur au potentiel explosif dynamique $\mathfrak{V}'$.

Dans le cas de la décharge continue, on a d'ailleurs $\Phi' > V_1$. Si le potentiel statique V auquel on a chargé le condensateur C ne diffère du potentiel explosif statique $\mathfrak{V}$ que d'une quantité négligeable on peut dire que l'abaissement est inférieur à $\frac{\gamma}{C+\gamma}$ V ; si $\frac{\gamma}{C+\gamma} < \frac{1}{100}$, cet abaissement sera inférieur à $\frac{1}{100}$ V ; on pourra dire, avec raison :

Le potentiel explosif de l'excitateur I *n'est pas diminué d'une façon appréciable par des variations très petites mais très rapides du potentiel.*

2° *L'excitateur* I *se décharge;* l'étincelle éclate nécessairement à un potentiel inférieur au potentiel statique V. Désignons par Φ le potentiel statique le plus petit auquel on puisse charger C pour que l'excitateur I se décharge. Si $\mathfrak{V}$ est le potentiel explosif statique, nous appellerons la différence $\mathfrak{V} - \Phi$ *l'abaissement apparent du potentiel* dans la décharge considérée. *L'abaissement réel* du potentiel produit par la décharge sera supérieur à l'abaissement apparent, car le potentiel dynamique Φ' auquel éclate l'étincelle est inférieur à Φ.

Étudions de même l'excitateur H :

1° *Il ne se décharge pas ;* c'est que le potentiel explosif n'a pas été atteint, ni pendant, ni après la décharge partielle ;

2° *Il se décharge* (on le suppose réglé pour ne pas se décharger quand on le charge par la méthode statique au potentiel V_1) ; c'est que le potentiel dynamique atteint pendant la décharge surpasse ou égale le potentiel explosif dynamique de l'excitateur.

Si on admet l'égalité des potentiels explosifs statique et dynamique d'un excitateur placé dans les conditions normales, on pourra voir très simplement si la décharge est continue ou oscillatoire.

2° *Réalisation expérimentale.*

Les expériences sur l'excitateur I dont nous

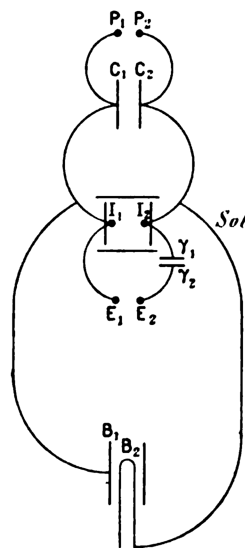


Fig. 21.

venons d'exposer le principe sont réalisées de la façon suivante :

Soient (fig. 21) C_1, C_2 les armatures du

condensateur principal C ; γ_1, γ_2 les armatures du condensateur secondaire γ ; I_1, I_2 les pôles de l'excitateur principal I ; E_1, E_2 les pôles de l'excitateur secondaire E ; P_1, P_2 les pôles de la machine électrostatique de Holtz ; B_1, B_2 les cylindres extérieur et intérieur de l'électromètre cylindrique de MM. Bichat et Blondlot, extrêmement commode pour toutes ces expériences. On fait communiquer métalliquement : 1° P_1, C_1, I_1, E_1, B_1 ; 2° E_2, γ_2. On réunit entre eux et au sol P_2, C_2, I_2, γ_1, B_2. On place des écrans autour de I_1, I_2 pour préserver cet excitateur de l'action de toute lumière ultra-violette provenant de l'étincelle de E_1 E_2) des effluves et des aigrettes qui peuvent s'échapper des fils, des supports isolants du cylindre B_2 de l'électromètre, des armatures des condensateurs C et γ pendant la charge de C et la décharge partielle de C dans γ et des conducteurs de la machine de Holtz, etc...

L'excitateur I_1 I_2 est un excitateur de M. Mascart dont les pôles sont vissés directement sur les tiges métalliques ou sur isolant.

L'excitateur E_1 E_2 (fig. 22) a l'une de ses

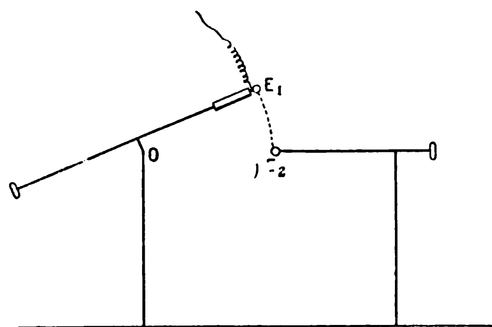


Fig. 22.

branches fixes, l'autre mobile autour d'un point O ; le pôle E_2 est vissé directement sur la branche métallique fixe ; le pôle E_1 est vissé sur une tige isolante fixée elle-même à la branche mobile de l'excitateur ; de cette manière, on peut toucher la branche mobile sans danger, même quand E_1 est à un très grand potentiel. La distance du pôle E_1 est à un très grand potentiel. La distance du pôle E_1 au point O est telle qu'on puisse amener les pôles E_1 et E_2 au contact en faisant basculer le levier, qui porte le pôle E_1, autour du point O.

Les fils qui joignent les pôles P_1, P_2, de la machine de Holtz aux armatures C_1, C_2, sont des fils de cuivre de 1 m de long environ et de $\frac{8}{10}$ de mm de diamètre ; les autres communications sont également en fil de cuivre enroulé en spirale ; la longueur totale de l'un des fils entre deux points tels que C_1, I_1 ; I_1, E_1, etc., est de 2 à 3 m.

L'observation électrométrique se fait par la méthode subjective.

Les expériences sont conduites de la façon suivante :

On tourne la machine de Holtz, de façon à charger le condensateur C aussi lentement que possible et, en même temps, on suit, dans la lunette, l'indication de l'électromètre ; on note la division de l'échelle qui passe au réticule au moment où l'étincelle éclate en I, ce qui donne le potentiel explosif statique de l'excitateur principal. On recommence la charge avec la même lenteur et, lorsque le potentiel de I est très peu inférieur au potentiel explosif précédemment déterminé, on fait éclater une étincelle en E : le potentiel de I diminue brusquement et γ se charge aux dépens de C ; pour cela, un aide fait basculer le levier qui porte la boule E_1, amène E_1 en contact avec E_2 et l'éloigne aussitôt, il note la division de l'échelle observée au réticule de la lunette par l'expérimentateur au moment où l'étincelle éclate en E et décharge le condensateur γ. Par suite de l'étincelle en E, le potentiel de I a diminué plus ou moins ; on recommence la charge dans les mêmes conditions et l'on fait éclater l'étincelle en E pour un potentiel un peu plus élevé, et ainsi de suite.

Si la variation rapide de potentiel produite par la décharge partielle de C dans γ diminue le potentiel explosif d'une quantité appréciable, on pourra toujours charger statiquement l'excitateur I à un potentiel assez voisin du potentiel explosif statique pour que l'étin-

celle secondaire en E provoque en même temps la décharge de l'excitateur principal I.

On pourra mesurer l'abaissement apparent par la décharge partielle, en cherchant le potentiel le moins élevé auquel on peut charger l'excitateur I pour qu'une étincelle secondaire en E provoque une étincelle principale simultanée en I.

Ces expériences sont résumées dans des tableaux où les diverses expériences sont relatées dans l'ordre où elles ont été faites. La lettre E indique que l'on fait éclater l'étincelle en E; la lettre I, que l'étincelle jaillit en I; le nombre en regard de I ou de E représente la division de l'échelle dont l'image par réflexion sur le miroir de l'électromètre coïncide avec le réticule au moment de l'étincelle. Dans les tableaux, la première colonne donne l'ordre dans lesquel les expériences sont faites; la deuxième, la division de l'échelle lue à l'électromètre; la troisième, l'excitateur auquel l'étincelle éclate.

Pour trouver le potentiel, j'admets, ce qui d'ailleurs est exact dans les limites de précision de l'expérience, que la surcharge qu'il faudrait ajouter pour ramener la division zéro au réticule est proportionnelle au nombre de divisions de l'échelle comprises entre la division qui coïncide avec le réticule et le zéro de l'échelle.

Lorsque l'électromètre est en équilibre et n'est pas électrisé, l'image de la division zéro coïncide avec le réticule, pour une surcharge de 5 cgr, dans le plateau du cylindre intérieur mobile, l'image de la division 18 coïncide avec le réticule. Donc, un déplacement d'une division correspond à $\frac{1}{360}$ de gr.

Pour l'électromètre employé, si la différence de potentiel entre les cylindres est de 58,93 unités électrostatiques C. G. S., la force attractive est de 1 gr; si on évalue la force attractive en $\frac{1}{360}$ de gr, le potentiel est donné, en unités C. G. S., par la formule :

$$V = \frac{58.73}{\sqrt{360}} \sqrt{\text{force attractive}} = 3{,}1 \sqrt{\text{force attractive}}.$$

Les mesures de potentiel explosifs statiques donnent des résultats concordant avec les potentiels explosifs consignés dans les tables.

J'ai fait un grand nombre d'expériences; je n'en reproduirai que quelques-unes.

(*A suivre.*)

R. Swyngedauw,
Maître de conférences à la Faculté de Lille.

QUELQUES CONSIDÉRATIONS
SUR LES
DISTRIBUTIONS PAR COURANTS POLYPHASÉS

Les avantages et les inconvénients des divers systèmes de distribution par courant continu et par courant alternatif sont bien connus des lecteurs de ce journal et nous n'avons pas la prétention de leur apprendre des choses absolument nouvelles. Il nous a paru cependant, à propos de la description que nous avons faite l'an dernier des installations des Forces Motrices du Rhône et de celle, plus récente, des installations de Rheinfelden qu'il n'était pas inutile de rassembler et de mettre en lumière les considérations qui justifient le choix du système par courants polyphasés dans ces deux importants réseaux de distribution.

Il est en effet bien reconnu, tant par la théorie que par le développement considérable que prennent chaque jour les applications du système polyphasé, qu'il fournit la solution la plus rationnelle et la plus économique lorsqu'il s'agit de distribuer l'énergie à grandes distances.

Les applications du courant continu tendent, de plus en plus, à se trouver réduites aux installations d'éclairage à réseaux de peu d'étendue (dans un rayon inférieur à 3 km) et aux réseaux des tramways urbains.

Dans certains cas particuliers, l'emploi du courant continu peut cependant présenter quelques avantages : s'il s'agit par exemple d'une petite station à vapeur, on pourra sou-

vent réaliser une économie dans les frais d'exploitation en employant une batterie d'accumulateurs qui permettra de faire fonctionner les machines dans les meilleures conditions de rendement.

Mais dès qu'il s'agit d'une station de quelque importance, cet avantage s'évanouit, car on peut, par un fractionnement convenable de la puissance totale en unités indépendantes, obtenir le même résultat sans l'emploi d'accumulateurs.

On a souvent fait valoir à l'avantage du système à courant continu la simplicité du montage du réseau et la facilité du réglage qui en résulte; il est certain que cette remarque serait fondée si l'on pouvait, pratiquement, s'en tenir au montage à deux fils, mais, dans presque toutes les installations des considérations d'économie imposent le montage à fils multiples; on se trouve alors dans des conditions tout au moins aussi compliquées qu'avec le montage polyphasé.

Il est, d'autre part, incontestable que les transformateurs à courants alternatifs sont tout à la fois meilleur marché et plus simples que les transformateurs à courant continu. Il est également incomparablement plus facile d'obtenir, par courants alternatifs, les hautes tensions nécessaires pour pouvoir franchir économiquement les grandes distances; les alternateurs peuvent fournir directement jusqu'à 10000 et 15000 volts, tandis que les machines à courant continu exigeraient pour une pareille tension, le fonctionnement simultané de plusieurs génératrices en série. Il est d'ailleurs très facile, dans le cas du courant alternatif, d'élever encore cette tension si les conditions du problème l'exigent.

On peut ainsi s'affranchir, dans une certaine mesure, des considérations de distance; en l'état actuel, il est possible, en n'employant pas de tensions supérieures à 20000 volts, d'établir une ligne de transport pour 10000 chevaux à 100 km, pour un prix inférieur à 15000 fr par km, tout en conservant un rendement supérieur à 82 p. 100. Quand il s'agit d'installations de moindre importance, l'emploi des hautes tensions permet de réduire le poids du cuivre dans de telles proportions que le coût de la ligne proprement dite n'atteint qu'un faible pourcentage du prix afférent au montage et à l'achat des poteaux et des supports; souvent même, on se trouve conduit, par des considérations de résistance mécanique, à majorer, dans certaines dérivations, la section calculée en ne tenant compte que des exigences électriques.

Le courant continu conserve cependant un certain avantage pour l'éclairage par arcs; pour une même consommation en watts, il fournit une plus grande intensité lumineuse; il y a toutefois lieu de remarquer que cet avantage n'est pas si grand qu'on le croit généralement; en effet les lampes à arc à courant continu exigent l'emploi d'un rhéostat qui consomme en pure perte environ 20 p. 100 de l'énergie utilisée, tandis qu'avec les lampes à courants alternatifs on peut employer une bobine de self-induction dont la consommation est pratiquement nulle; de plus, lorsqu'il s'agit de grands réseaux, le prix du kilowatt, au lieu d'utilisation, est plus élevé avec le système continu qu'avec l'alternatif. Au reste, lorsque ce service atteint exceptionnellement une importance suffisante, il est toujours facile, comme cela se pratique dans plusieurs grandes villes d'Amérique, de l'alimenter par des réseaux locaux spéciaux à haute tension et à courant continu.

On a beaucoup exagéré les dangers que présente pour le public l'emploi des hautes tensions. En fait, ce danger n'existe qu'au cas très rare où, par suite d'un accident, les fils de lignes se trouvent brisés et trainent à terre, tout en restant en communication avec l'usine génératrice. Or il se produit généralement en pareil cas des courts-circuits qui provoquent la fusion des plombs de sûreté et tout danger se trouve automatiquement écarté. La rupture d'un fil de trôlet pourrait être, jusqu'à un certain point, considérée comme plus dangereuse que celle d'une ligne ordinaire à haute tension, car, dans ce cas, le court-circuit se produit plus rarement;

toutefois les tensions admises dans les réseaux de tramways, ne sont généralement pas susceptibles de provoquer la mort, tout au moins chez l'homme.

Partout où les lignes sont inaccessibles, elles sont assurément moins dangereuses que les voies de chemin de fer ouvertes sur de nombreux passages à niveau.

On évite généralement autant que possible et avec raison, de traverser des lieux habités avec les lignes à haute tension. Lorsqu'on y est contraint, il convient de prendre des précautions toutes spéciales pour les parties qui doivent être installées soit contre les façades, soit sur les toits et qui peuvent devenir accessibles pour les ouvriers chargés de réparer les bâtiments.

A ce sujet, l'arrêté préfectoral du 15 septembre 1893, qui régit en France l'établissement et le fonctionnement des conducteurs d'électricité sur la grande voirie nationale et départementale me paraît quelque peu diffus. Il y est dit :

« Chapitre II, § 7. — Dans la traversée des lieux habités, les conducteurs électriques sont en outre soumis aux règles suivantes :

» 1° Les conducteurs de la canalisation principale prennent généralement leur appui aux maisons riveraines ; ils doivent être placés à 1 m au moins des façades, à 0,50 m au moins au-dessus des fenêtres les plus élevées et, en tout cas, en dehors de la portée des habitants. S'ils passent au-dessus d'un toit en terrasse, ils doivent être à une hauteur de 2,50 m au moins au-dessus du point le plus élevé. L'emploi des conducteurs nus n'est autorisé que quand la différence de potentiel entre les conducteurs ne dépasse pas 120 volts en courant alternatif et 400 volts en courant continu.

» 2° Les conducteurs formant branchement particulier doivent être recouverts d'un isolant depuis la canalisation principale jusque dans l'intérieur de l'immeuble à desservir.

» § 8. — Lorsqu'un conducteur est recouvert d'un isolant, les matières employées pour obtenir l'isolement, doivent être telles qu'elles ne soient pas sujettes à des changements nuisibles d'état physique ou de constitution, par la chaleur ou les intempéries. La matière isolante doit avoir une épaisseur d'au moins 0,0025 m et être garantie suffisamment à l'extérieur contre la détérioration ou l'usure par frottement. »

Ces prescriptions vagues sont évidemment insuffisantes et l'on se trouve très embarrassé quand on a à les interpréter. Il est impossible aux agents chargés du contrôle (qui dépendent des services des Ponts et Chaussées), de reconnaître *a priori* si « les matières employées pour obtenir l'isolement » ne sont « pas sujettes à des changements nuisibles d'état physique ou de constitution, par la chaleur ou les intempéries ». L'expérience seule permet de s'en rendre compte. Les fabricants de câbles, aussi bien que les Compagnies d'électricité ne manquent jamais de garantir la qualité supérieure des câbles employés, bien qu'il suffise généralement d'un an ou deux pour détruire complètement l'isolement des câbles présentés avec les meilleures garanties.

D'autre part, l'épaisseur de l'isolement ne préjuge en rien de sa qualité.

Je pourrais citer des cas dans lesquels l'application stricte de ces prescriptions a conduit à autoriser l'installation de certains réseaux dans des conditions qui sont loin de présenter les garanties désirables.

Il serait cependant très simple d'obtenir une sécurité absolue en exigeant, pour la traversée des lieux habités, des câbles isolés et *sous couverture de plomb* et en établissant auprès de chaque support (ou après une série d'un nombre déterminé de supports, suivant leur espacement) une communication entre cette enveloppe de plomb et la terre. L'isolement du câble se trouverait ainsi à l'abri des intempéries et même en cas de détérioration de la couche isolante, le contact serait absolument sans danger. Je signale cette remarque incidente à l'attention de qui de droit.

On rencontre encore, dans l'établissement des lignes à haute tension, deux cas particu-

liers qui exigent des précautions spéciales : la traversée des lignes télégraphiques et téléphoniques et la traversée des voies ferrées.

Dans le premier cas, on se contente généralement d'établir, au-dessous de la ligne la plus élevée, un filet métallique destiné à recevoir les fils en cas de rupture. Ce procédé n'a de valeur que si la ligne la plus élevée correspond au service télégraphique ou téléphonique ; en cas contraire, le filet est généralement exposé à être détruit par le courant des fils qu'il doit recueillir. Il conviendrait

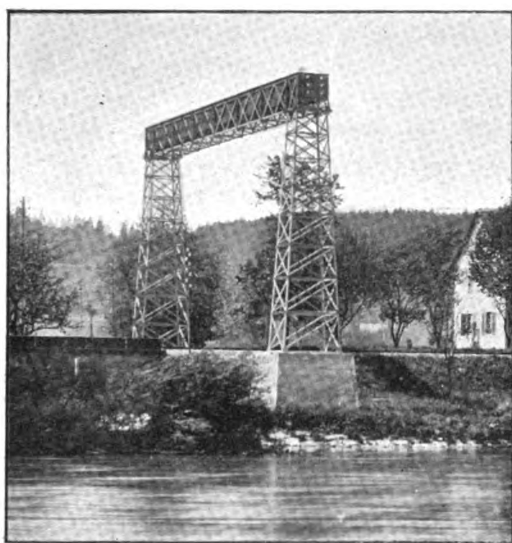


Fig. 1. — Passerelle pour la traversée des voies ferrées par les conducteurs de distribution.

donc de placer *toujours* les lignes à haute tension en dessous des lignes télégraphiques et téléphoniques. De plus, il serait préférable d'installer le filet protecteur en dessus des lignes à haute tension ; on éviterait ainsi que les fils téléphoniques échappés au filet puissent venir fouetter les lignes dangereuses.

Le passage des voies ferrées s'effectue tantôt par câbles souterrains, tantôt par fils aériens enfermés dans une sorte de gaine en filets métalliques (fig. 1). Le danger résultant d'une rupture est d'ailleurs, dans ce cas, moins conséquent que dans le cas précédent. Lorsque la tension dépasse 5000 volts, il n'est pas prudent d'employer, pour le passage souterrain, de simples câbles armés. On doit alors avoir recours à la construction d'un caniveau spécial. On peut également employer un procédé plus économique (appliqué par la maison Brown, à Dietikon et à Zurich) et qui consiste à placer les conducteurs nus dans des tuyaux maintenus pleins d'huile en les maintenant à distance des parois à l'aide d'un chapelet d'anneaux en porcelaine.

Lorsqu'on ne connaissait encore, pour l'application du courant alternatif, que le système monophasé, le courant continu présentait des grands avantages pour l'actionnement des moteurs.

Les moteurs monophasés synchrones étaient en effet tout à la fois plus compliqués et d'une conduite plus difficile que les moteurs à courant continu ; leur mise en marche surtout était particulièrement laborieuse ; ce type est d'ailleurs actuellement complètement abandonné, tout au moins pour les applications courantes, même par les maisons qui s'étaient spécialisées dans sa construction.

Ce n'est que depuis l'introduction des systèmes polyphasés et la création des moteurs asynchrones que le problème du transport de l'énergie par courants alternatifs a été pratiquement résolu. S'il est encore possible d'établir une comparaison entre le moteur continu et le monophasé asynchrone, personne ne songe plus par contre à discuter la supériorité des polyphasés asynchrones. Ces moteurs remplissent en effet bien toutes les conditions qu'on peut exiger d'un appareil industriel et qu'on peut résumer de la façon suivante :

1° Mise en marche et arrêt par la manœuvre d'un appareil simple ;

2° Démarrage sans l'emploi d'embrayages mécaniques. (Cette condition a, dans certains cas, une grande importance au point de vue économique ; s'il s'agit, par exemple, de la conduite des métiers à tisser, étant donné qu'il n'y a jamais plus de 70 p. 100 du nombre total des métiers en marche simultanée, on perdrait en laissant tous les moteurs continuellement en fonction une grande partie

des avantages que procure la conduite électrique);

3° Le rendement doit être élevé à toutes charges;

4° Enfin le moteur doit avoir une grande élasticité de puissance et pouvoir donner momentanément de forts « coups de collier ». En particulier la conduite des broyeurs, des machines à raboter le bois et des machines à imprimer exigent fréquemment une puissance momentanée triple de la puissance normale.

Pour les applications spéciales aux pompes, aux grues, aux ponts roulants et aux moteurs de tramways, le moteur doit encore pouvoir fournir, au démarrage, un couple très puissant.

Au point de vue de la construction, les moteurs asynchrones se présentent d'une façon beaucoup plus avantageuse que les moteurs à courant continu; ils sont plus compacts, utilisent mieux l'espace et la matière; ils sont plus robustes, ne comportent pas de collecteurs ne demandent aucun réglage et fonctionnent sans étincelles. Le bobinage d'induit est plus simple et plus mécanique que pour les moteurs à courant continu; ce bobinage étant noyé dans la masse de fer résiste bien à la force centrifuge; il est d'ailleurs souvent réduit à de simples barres de cuivre; enfin, comme on dispose, dans une certaine mesure, du voltage engendré dans l'armature, il est toujours assez facile d'obtenir un bon isolement sans être forcé de recourir à des précautions spéciales.

Au point de vue du rendement les polyphasés asynchrones sont supérieurs à la fois aux continus et aux monophasés asynchrones. Ces derniers exigent d'ailleurs un dispositif spécial pour le démarrage.

Le système polyphasé a encore sur le monophasé l'avantage reconnu d'une meilleure utilisation de la matière dans les générateurs; il peut enfin, dans le cas du triphasé, permettre une réduction du coût des réseaux.

Quand on cherche à comparer entre eux les systèmes bi et triphasés c'est à tort que l'on invoque parfois en faveur du premier un réglage plus facile de la tension dans les réseaux d'éclairage. En pratique, si le nombre de lampes installées sur chaque phase est approximativement le même, ce réglage est rendu inutile du fait de la faible réaction des générateurs actuels. En particulier pour les machines de Rheinfelden et de Lyon la différence entre la tension aux bornes à vide, et en pleine charge, à excitation et vitesse constante, ne représentera pour $\cos \varphi = 0,8$ que 12 p. 100 de la tension normale.

Les générateurs triphasés sont, dans les mêmes conditions, légèrement moins chers que les biphasés; leur rendement est d'autre part un peu plus élevé. Il y a également avantage en faveur du triphasé, si l'on considère le rendement des transformateurs; en employant les transformateurs à trois noyaux conjugués on peut arriver à réduire quelque peu, tout en conservant la même induction, le poids du fer et par suite les pertes par hystérésis et courants parasites.

Quant au fonctionnement des moteurs, il y a peu de différence; toutefois les moteurs biphasés présentent, toutes proportions gardées, une plus forte dispersion; il s'ensuit que le couple au démarrage ainsi que la puissance maxima en surchage se trouvent un peu plus faibles.

Enfin, à toutes ces considérations, qui prises individuellement sont de peu d'importance, mais qui toutes tendent à établir la supériorité du triphasé il faut ajouter qu'il permet de réaliser une économie de 25 p. 100 sur le prix des lignes. Cet avantage peut prendre une telle importance que la Compagnie du Niagara, après avoir adopté le biphasé, a décidé de recourir à la transformation en triphasé pour l'alimentation des lignes à grandes distances.

Indépendamment du système choisi, la fréquence peut avoir une grande influence tant au point de vue économique qu'au point de vue du bon fonctionnement de l'installation.

Une basse fréquence (de 20 à 40 périodes

par seconde) est avantageuse pour la construction des générateurs et permet de réduire la perte de tension dans les lignes ; par contre elle augmente le prix des transformateurs et ne permet pas d'alimenter dans de bonnes conditions les réseaux d'éclairage.

Quand on augmente la fréquence, les avantages et les inconvénients cités diminuent simultanément. Si l'on fait fonctionner un transformateur déterminé sous différentes fréquences et à son voltage normal on constate que son rendement diminue en même temps que la fréquence elle-même ; ce fait est dû à ce que l'induction magnétique est dans ce cas inversement proportionnelle à la fréquence et à ce que les pertes par hystérésis croissent très rapidement avec l'induction ; on admet généralement que ces pertes croissent proportionnellement à la puissance 1,6 de l'induction, mais, en réalité, pour les grandes valeurs de l'induction, l'expérience prouve qu'on peut atteindre et même dépasser la puissance 2. Si l'on utilise le même transformateur sous voltage inversement proportionnel à la fréquence de façon à conserver, tout au moins théoriquement, la même valeur à l'induction magnétique, on constate encore que le rendement, ainsi que la puissance diminuent avec la fréquence. En pratique on a reconnu qu'en tenant compte à la fois, du prix, de l'encombrement et du rendement, la construction des transformateurs s'accommode très bien d'une fréquence de 40 à 50 périodes par seconde. Au delà de 50 périodes on ne trouve d'ailleurs plus grand avantage à l'augmentation de la fréquence.

Bien que l'on puisse, jusqu'à un certain point, assimiler les moteurs asynchrones aux transformateurs, on ne saurait leur appliquer dans leur généralité les remarques précédentes. Il y a en effet à considérer que pour un moteur déterminé l'augmentation de la fréquence a pour conséquence une augmentation proportionnelle de la vitesse ; or, comme on doit toujours éviter autant que possible l'emploi de transmissions compliquées, cette vitesse se trouve limitée par la nature de la machine que le moteur doit conduire. On peut, il est vrai, chercher à tourner la difficulté en multipliant le nombre de pôles, mais cet artifice augmente d'autre part la dispersion magnétique, le poids du cuivre et le prix de revient. La pratique a démontré qu'à part quelques cas spéciaux la fréquence la plus convenable pour l'actionnement des moteurs peut varier de 30 à 50 périodes à la seconde.

Le fonctionnement des lampes à incandescence peut s'accommoder d'une fréquence plus ou moins basse suivant la grosseur des filaments. Les lampes normales de 110 volts peuvent être alimentées à 35 périodes sans qu'il en résulte aucune variation perceptible dans la lumière.

Les lampes à arc présentent une température beaucoup plus élevée ; il s'en suit, d'après une loi connue, que les variations de température ont une influence bien plus sensible sur la puissance lumineuse ; bien que la capacité calorifique soit plus grande et la surface de refroidissement relativement plus petite on ne peut descendre au-dessous de 40 périodes à la seconde ; ce régime est suffisant lorsqu'il s'agit d'éclairage public mais pour avoir une lumière complètement tranquille, il convient d'employer de 45 à 50 périodes.

De toutes les considérations précédentes il résulte qu'une fréquence moyenne de 40 à 50 périodes permet d'assurer dans de bonnes conditions les services simultanés d'éclairage et de distribution d'énergie.

La fréquence de 50 qu'on a choisie pour Lyon est également celle qui a été adoptée à Rheinfelden. La plupart des grandes maisons de construction du continent l'ont d'ailleurs prise pour base de l'établissement de leur matériel courant, ce qui crée, dans l'ordre pratique, une raison de plus pour justifier son choix.

Indépendamment de la fréquence, de la longueur de la ligne et de la distance des conducteurs, la perte en volts due à la self-induction du réseau dépend encore de la disposition relative des divers conducteurs et

de l'intensité du courant. Lorsqu'il y a lieu de se préoccuper de cet effet on peut l'atténuer en opposant à la self-induction, l'induction mutuelle et en multipliant le nombre des conducteurs en dérivation. Toutefois le moyen le plus efficace d'arriver à ce résultat consiste évidemment à employer de hautes tensions qui diminuent l'intensité et permettent de réduire la perte à un pourcentage insignifiant.

La capacité des lignes aériennes est sans grande influence; elle est d'ailleurs largement compensée par le courant décalé des moteurs. On a relevé à Francfort une observation de ce fait: l'ampèremètre de la station *baissait* quand on mettait la ligne en service sur un moteur de 100 chevaux, fonctionnant à vide.

Lorsqu'il s'agit de canalisations souterraines la capacité peut donner lieu à des phénomènes curieux, trop compliqués pour être analysés dans cet article, mais sur lesquels je me propose de revenir prochainement.

J.-L. Routin,
Ingénieur à la Société Lyonnaise des Forces motrices du Rhône.

RAPPORT

SUR DES

ESSAIS DE CHARGE RAPIDE

D'ACCUMULATEURS A NAVETTES SYSTÈME G.-R. BLOT

Les essais ont porté sur une batterie de 3 éléments de 7 plaques chacun comprenant :

3 positives de 1,300 kg l'une, ensemble. .	3,900 kg
2 négatives de 1,300 kg » » . .	2,600 »
2 » 1,000 kg » » . .	2,000 »
Total	8,500 kg

L'eau acidulée sulfurique titrait 1,285 de densité, ce titre élevé, choisi en raison des charges rapides auxquelles on se proposait de soumettre les éléments.

Les navettes sont faites avec le plomb de dimensions normales assurant une surface active de 1 mètre carré par 3 kg d'électrodes.

Ces 3 kg comprennent 1 kg de plomb inattaquable (cadres, tiges, jonctions, etc.) et 2 kg de plomb attaquable.

Expérience du 24 *février* 1897. — Les éléments étant complètement vides, on leur a donné une charge rapide d'une durée de 15 minutes. La décharge a suivi immédiatement au régime d'environ 25 ampères.

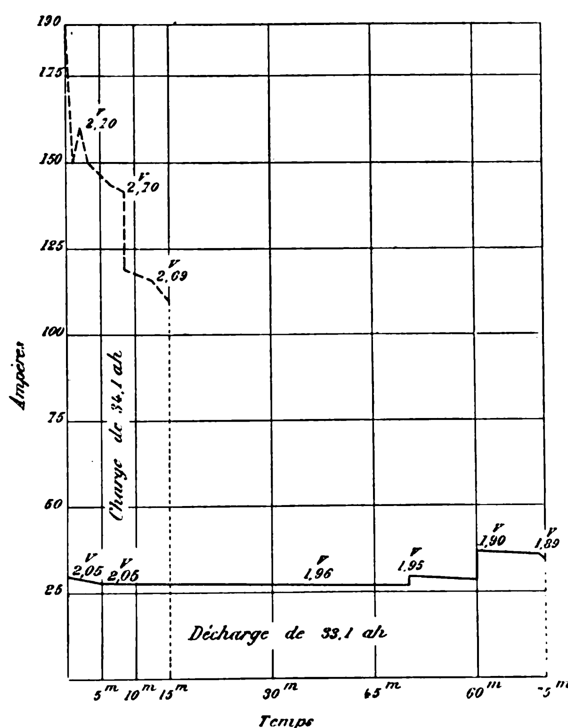


Fig. 1. — Expérience du 24 février.

La charge correspond à un régime variant de 14 à 18 ampères par kilogramme d'électrodes. La décharge correspond à 3,5 ampères par kilogramme environ.

Rendement en quantité. . . .	0,97
» énergie	0,70

Expériences des 25 *et* 26 *février* 1897. — Dans cet essai, on s'est proposé de donner à la batterie une charge complète dans le minimum du temps. Sachant par les essais antérieurs que la capacité était voisine de

70 ampères-heure, on s'est arrangé pour arrêter la charge à environ 75 ampères-heure. On a maintenu constamment le voltage aussi près que possible de la limite à laquelle le bouillonnement se produisait.

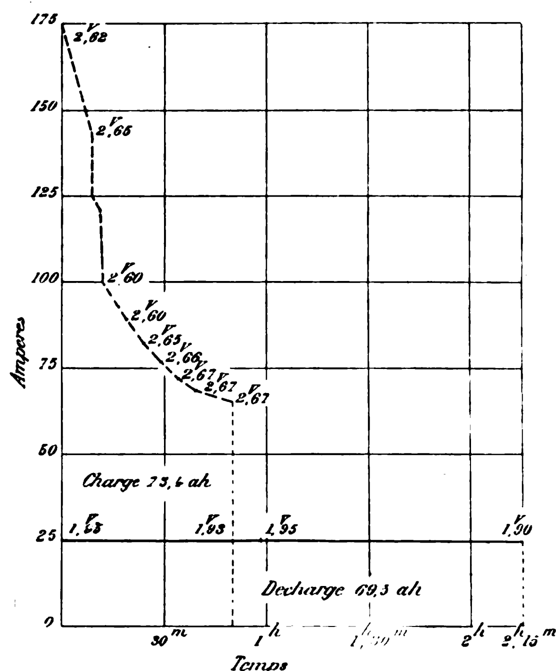


Fig. 2. — Expériences des 25 et 26 février.

La batterie chargée a été abandonnée 17 heures avant d'être chargée au régime assez élevé de 25 ampères.

Rendement en quantité. . . .	0,90
» énergie	0,65

Expérience du 27 février 1897. — Dans le but de s'assurer si la batterie n'avait pas été altérée par les essais précédents, on l'a soumise à une charge et à une décharge de moyen régime. La capacité a été trouvée de 74,9 ampères-heure.

Rendement en quantité. . . .	0,93
» énergie	0,78

Expérience du 3 mars 1897. — En dernier lieu, on a cherché à donner la batterie, en 5 minutes, la plus forte charge utile possible.

On a fait suivre cette charge d'une décharge à 20 ampères et on a obtenu :

Charge.	22,8 ampères-heure
Décharge.	20,4 »
Rendement en quantité. . .	0,89 »
» énergie . . .	0,61 »

Il est à noter qu'avant cet essai, les éléments avaient été abandonnés quatre jours entièrement déchargés.

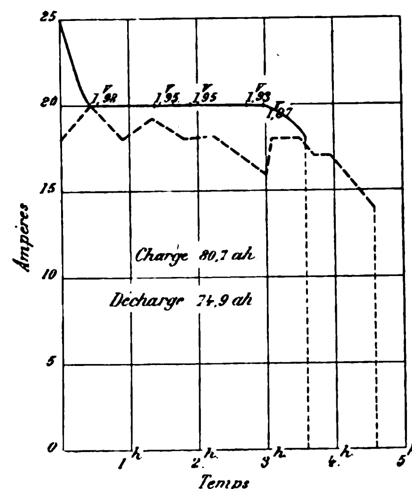


Fig. 3. — Expérience du 27 février.

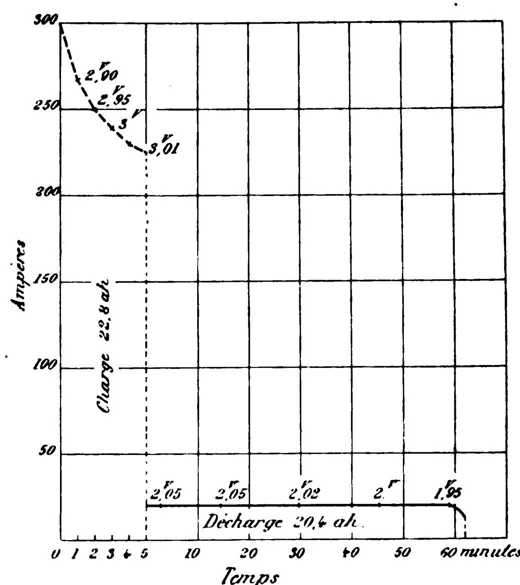


Fig. 4. — Expérience du 3 mars.

Au cours des expériences qui précèdent,

aucun indice n'a indiqué que les plaques eussent à souffrir des violents régimes auxquels elles ont été parfois soumises. Le changement de teinte des électrodes était la seule manifestation apparente de leur activité.

Les charges étaient empruntées à une batterie plus forte, qui elle-même n'a accusé aucun signe de détérioration.

Deux particularités sont à noter dans ces essais : 1° L'excellente constance du voltage pendant la durée de la décharge. La chute est brusque, et la quantité débitée entre 1,90 volt et 1,80 volt est négligeable. L'abaissement progressif à intensité constante ne dépasse guère 0,1 volt par éléments ;

2° Le voltage exceptionnellement élevé de la décharge qui suit une charge rapide.

La première particularité semble due à l'excellente circulation assurée à l'électrolyte ; la seconde peut résulter de phénomènes secondaires à l'électrolyse de l'acide sulfurique.

Paris, ce 10 mars 1897.

R.-V. Picou.

TRANSPORT D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

PAR COURANTS POLYPHASÉS

A ROMAGNANO

Les progrès réalisés dans la fabrication du papier, et, spécialement l'emploi du bois comme matière première, ont nécessité l'établissement d'un surcroît de force motrice dans toutes les usines qui s'occupent de cette intéressante industrie.

C'est ainsi que l'importante fabrique de MM. Vonviller et Cie fut conduite à utiliser les eaux de la Sesia à l'aide d'un transport d'énergie électrique dont une description sommaire a déjà été donnée dans la chronique de cette Revue.

La puissance hydraulique est située à Giapola, à 5 kilomètres de l'usine : on y dispose d'un débit de 8 000 litres à la seconde sous une chute de 10,5 m.

Le cadre de cette revue ne nous permet pas d'étudier en détail tous les travaux d'agrandissement de cette usine ; aussi, quelque intéressants qu'ils soient, nous nous bornerons à en décrire la partie électrique. L'installation électrique a été étudiée et exécutée par la Firme Brown Boveri, de Baden. Elle fonctionne depuis plus de deux ans et demi, sans aucune interruption, ni de jour, ni de nuit. Si l'on se reporte à la date à laquelle les projets furent établis, on recon-

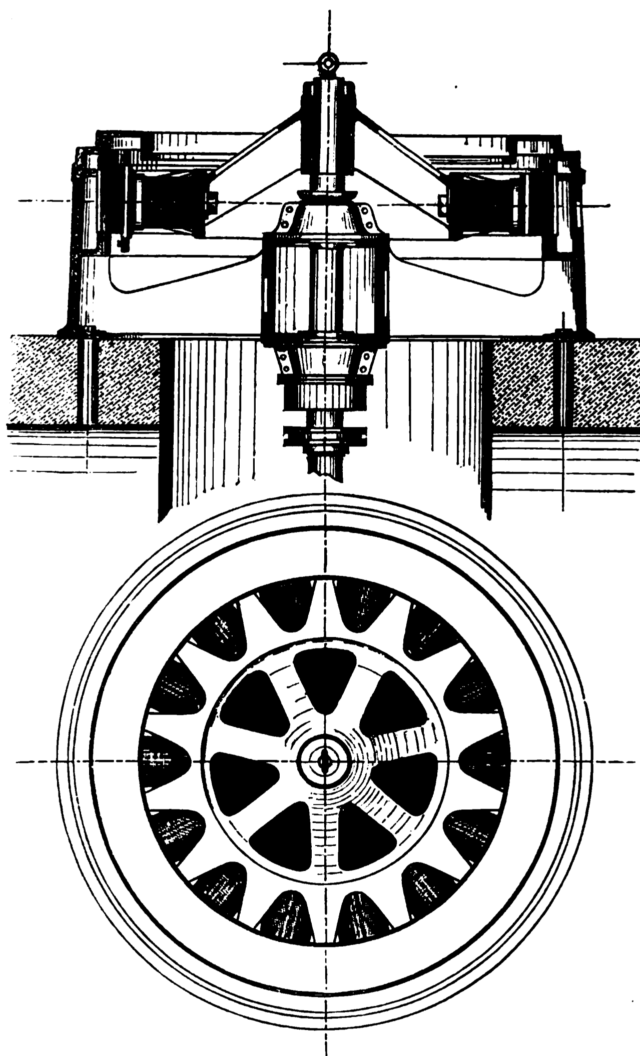


Fig. 1. — Alternateur biphasé. Coupe et plan.

naîtra qu'elle peut être considérée comme l'une des plus originales et des plus intéressantes. Les projets datent en effet de 1893, et le courant continu avait encore, à cette époque, de nombreux et fervents partisans qui le considéraient comme le seul système pratique. On adopta néanmoins le système polyphasé.

Entre le bi et le triphasé, on choisit le biphasé, tel qu'il fut conçu primitivement par Ferraris.

La puissance disponible aux turbines est de 810 chevaux. Le rendement global atteint 80 p. 100. On a donc 648 chevaux disponibles à Romagnano. Trois génératrices biphasées produisent le courant à la tension de 3600 volts : la fréquence est de 83,3 alternances à la seconde. Une ligne aérienne comportant 4 conducteurs, porte l'énergie à la fabrique : on y a installé 7 transformateurs de 90 kilowatts qui réduisent la tension à 230 volts. L'énergie est utilisée à l'aide de 6 moteurs de 120 chevaux et d'un certain nombre de moteurs plus petits, dont la puissance varie de 15 à 3 chevaux. En outre, deux transformateurs de 15 kilowatts assurent le service de l'éclairage.

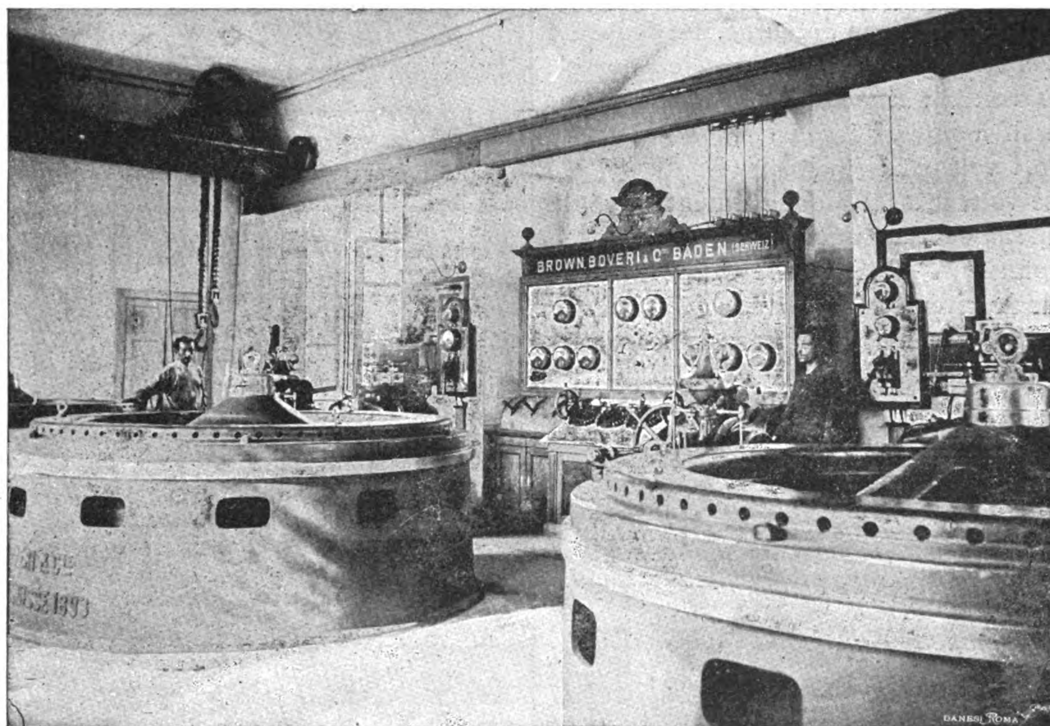


Fig. 2. — Salle des machines.

Station primaire. — L'installation hydraulique a été établie sur les projets de l'ingénieur Luig, à Riva. Les génératrices sont actionnées par 3 turbines de 270 chevaux dont la construction a été confiée à la maison Theodor Bell, de Kriens. Les turbines sont à arbre vertical et commandent directement les alternateurs : la vitesse est de 180 tours à la minute. L'induit est fixe ; l'inducteur est en acier coulé et présente une disposition spéciale ; comme le montre la figure 1, le nombre des pôles est double du nombre des bobines d'excitation ; ces dernières sont portées par des noyaux en fer forgé et logées dans les cavités cylindriques ménagées à cet effet entre les pôles venus de fonte avec la couronne de l'inducteur. Cette disposition a fait l'objet d'un brevet pris par MM. Brown ;

elle présente l'avantage de permettre l'emploi de bobines cylindriques, sans aucune perte de place.

Nous ne reviendrons pas sur la disposition en « ombrelle » de l'inducteur, dont les avantages ont déjà été signalés dans cette revue [1].

L'induit est constitué par un anneau de tôles isolées, à la périphérie interne duquel sont pratiquées des ouvertures pour le passage des conducteurs. L'absence de dentures permet l'emploi des pôles massifs sans qu'on ait à craindre leur échauffement par les courants de Foucault. Les conducteurs d'induit sont logés à l'intérieur de tubes isolants, et protégés par un recouvrement en fonte. Le poids d'un alternateur complet est d'environ 12 tonnes.

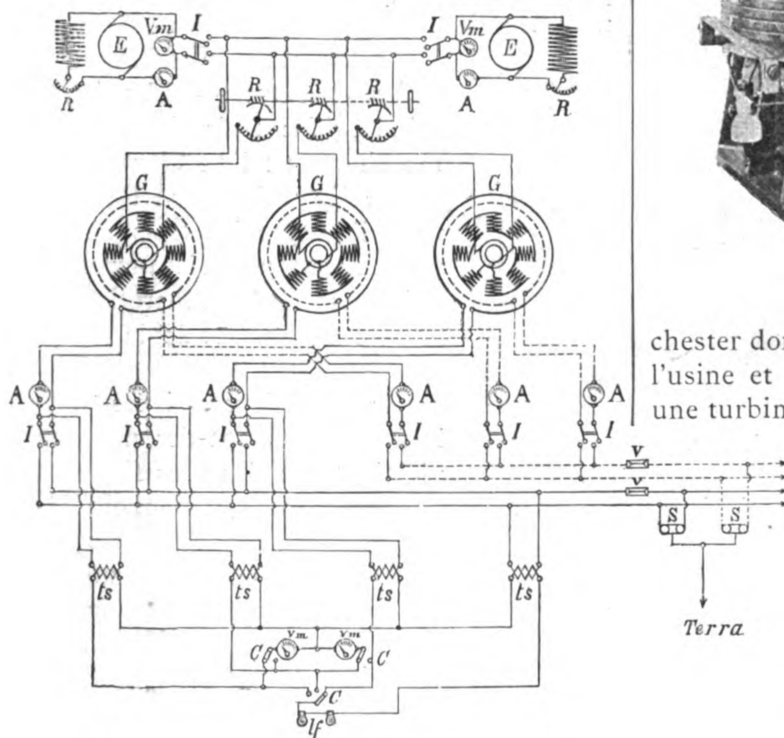


Fig. 3. — Schéma des connexions des génératrices au tableau.

A, ampèremètres; C, commutateurs; E, excitatrices; G, génératrices; I, interrupteurs bipolaires; R, résistances de réglage; S, parafoudres; V, coupes-circuit; Vm, voltmètres; lf, lampes de phases; ts, transformateurs des lampes de phases.

[1] Voir J. ROUTIN. Distribution d'énergie électrique à Lyon. *L'Éclairage Électrique* des 8 et 15 avril 1896; t. VIII, pages 241, 296.

Le courant d'excitation est fourni par deux machines à courant continu, du type Manchester dont les bâtis sont scellés au mur de l'usine et accouplées chacune directement à une turbine de 25 chevaux. Ces turbines ont une vitesse de 500 tours à la minute. Une seule de ces machines suffit à l'excitation des 3 alternateurs. La seconde sert de réserve.

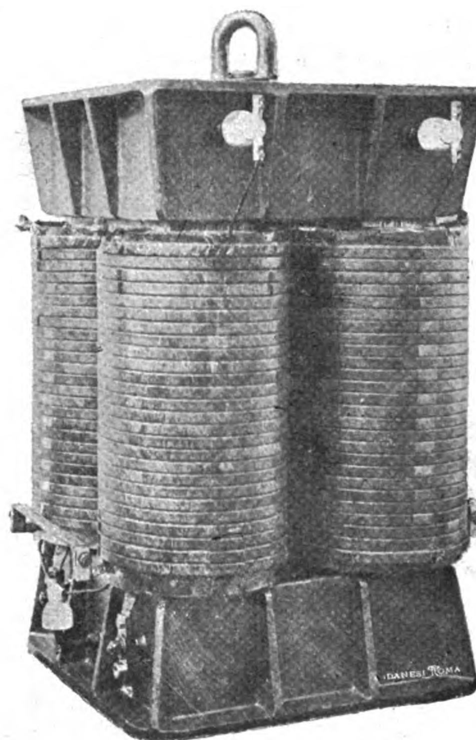


Fig. 4. — Transformateur.

La salle des machines (voir fig. 2) offre un aspect d'une grande simplicité. Les conducteurs servant à relier les générateurs au tableau central sont tous inaccessibles; ils passent en sous-sol dans des caniveaux spéciaux ménagés à cet effet dans les chambres des turbines. Le tableau est facilement accessible sur la face arrière comme sur la face avant.

Le schéma des connexions (fig. 3) est assez facile à comprendre, nous ne nous attar-

derons donc pas à des développements superflus. Les lampes de phase qui servent de couplage en parallèle, sont alimentées par 4 petits transformateurs de 200 watts chaque : l'un d'eux est branché sur les bornes omnibus, les 3 autres aux bornes respectives des alternateurs, et les connexions des secondaires sont faites de telles façons que la concordance de phase soit accusée par l'incandescence des lampes.

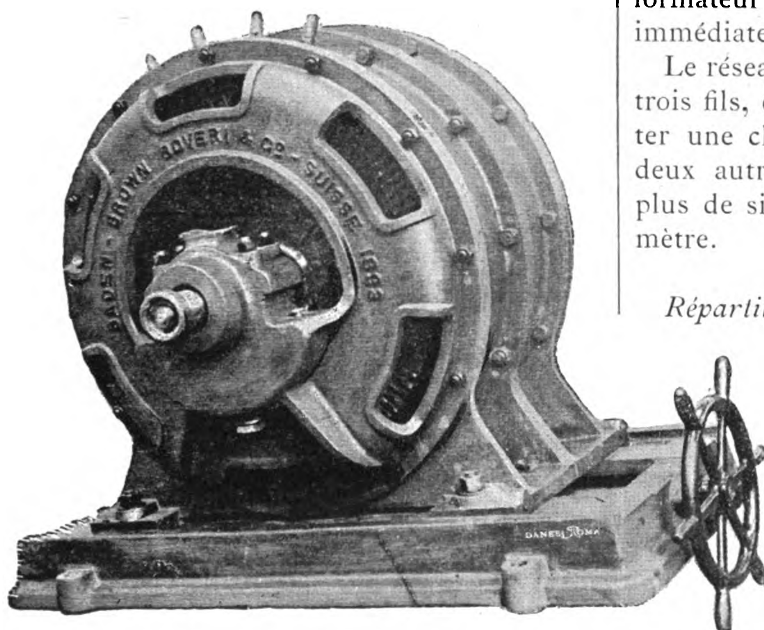


Fig. 5. — Moteur de 120 chevaux.

Les voltmètres sont à basse tension : ils sont connectés aux secondaires des petits transformateurs qui alimentent les lampes de phase.

Transformateurs et réseau compensateur. — La ligne primaire comporte 4 conducteurs de 8 mm de diamètre. Elle conduit le courant à 7 transformateurs biphasés de 90 kilowatts (fig. 4) et à deux monophasés de 15 kilowatts; ces transformateurs sont groupés en trois stations distinctes.

Les 6 moteurs de 120 chevaux (fig. 5 et 6) sont desservis chacun par un transformateur de 90 kilowatts. Toutefois les secondaires peuvent être tous réunis à un réseau compensateur destiné à équilibrer la consommation en permettant aux transformateurs les moins chargés de venir en aide à ceux qui ont à fournir momentanément un plus fort débit (fig. 6 et 7). Le septième transformateur n'est pas affecté à un moteur particulier. Il est relié au réseau compensateur de façon à pouvoir desservir l'un quelconque des moteurs ; au cas où l'un des transformateurs en service devient défectueux, le transformateur de réserve peut ainsi lui être immédiatement substitué.

Le réseau compensateur ne comporte que trois fils, et bien que l'un d'eux ait à supporter une charge $\sqrt{2}$ fois plus grande que les deux autres, on les a néanmoins pris pour plus de simplicité tous trois du même diamètre.

Répartition des moteurs. — L'ancienne usine utilise trois moteurs de 120 chevaux : l'un d'eux y actionne les calandres. Dans la nouvelle usine les trois autres moteurs actionnent les machines qui servent à la préparation de la pâte de bois et de la cellulose.

Les conditions exigées pour le fonctionnement des moteurs n'étaient pas des plus faciles à remplir. Les moteurs devaient pouvoir démarrer en pleine charge sans absorber un courant d'intensité supérieure à l'intensité du courant normal, et ne comporter ni bagues de contact, ni frotteurs. Or, on sait quelles difficultés s'opposent à la solution pratique des moteurs à induits fermés : l'induit doit avoir une résistance aussi faible que possible et il en résulte qu'au démarrage, le moteur se trouve dans les mêmes conditions qu'un transformateur dont le secondaire serait en court-circuit. Il n'y a qu'un moyen de réduire l'intensité du courant de démarrage dans de tels moteurs, c'est de réduire l'intensité du champ en abaissant la tension aux bornes, soit en intercalant une résistance en circuit,

ou mieux, en utilisant des appareils à induction.

Le couple se trouve alors réduit pour deux raisons:

1° Le champ inducteur devenant plus faible

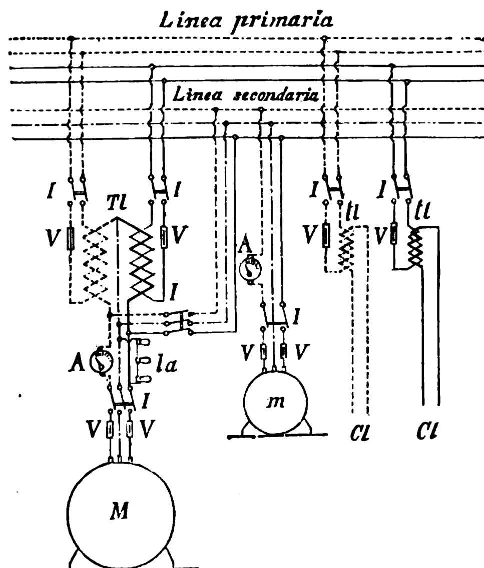


Fig. 6. — Schéma des connexions des transformateurs biphasés et monophasés à la ligne primaire du réseau compensateur, aux moteurs et aux réseaux d'éclairage.

A, ampèremètres; I, interrupteurs, M. *m*, moteurs; V, coupe-circuits: *Tl*, transformateur biphasé; *tl*, transformateurs monophasés; *la*, lampes; *Gl*, circuit de lampes.

la réaction d'induit prend une importance prépondérante, et la dispersion magnétique atteint un pourcentage énorme;

2° La self-induction des circuits induits, y produit, en raison de leur faible résistance, un décalage très préjudiciable entre le courant et le champ qui l'induit et sur lequel il agit.

Le moyen le plus pratique pour obtenir un couple puissant, consiste à intercaler des résistances dans les circuits de l'induit, tout en maintenant suffisamment intense le champ inducteur. Ces résistances doivent être retirées lorsque le moteur a démarré. On évite ainsi tous les inconvénients que nous avons signalés plus haut. C'est cette solution qui a été adoptée dans le cas qui nous occupe. Pour pouvoir l'appliquer sans employer de bagues de contact, on a eu recours au dispositif suivant :

L'induit des moteurs (dont l'inducteur a 8 pôles) comporte 9 enroulements groupés en étoile fermés sur eux-mêmes à l'aide de résistances spéciales montées aux extrémités de chaque bras de l'étoile portées par l'induit lui-même. Ces résistances sont disposées de telle façon qu'elles peuvent être mises en court-circuit après le démarrage. A cet effet l'arbre du moteur est traversé, du côté opposé à la poulie, par une tige filetée, sur laquelle est monté un écrou qui peut tourner librement sur lui-même, mais sans pouvoir se déplacer dans le sens de l'axe (fig. 7). Cet écrou est solidaire d'un petit volant de manœuvre; il suffit de faire frein avec la main sur ce dernier pour faire avancer la tige filetée vers l'intérieur du moteur; cette tige porte un cône de bronze flexible, dont le déplacement met en court-circuit les résistances de démarrage.

Au départ la tige filetée doit être ramenée vers l'extérieur.

Ce dispositif a donné de très bons résultats. On a fait sur l'un des moteurs des essais au frein qui ont donné les résultats suivants:

Puissance en chevaux.	Courant moyen par phase.	Tension.	Vitesse en tours à la minute.	Énergie apparente en watts.
0	55	235	640	25 850
43.5	100	235	640	47 000
75	150	234	620	70 000
98	195	232	620	90 000
100	200	220	620	88 000
116	250	210	610	105 000
125	250	219	600	109 500
136	275	219	600	120 450

Les mesures ont été lues sur des appareils Hartmann et Braun, et Cardew.

On ne disposait pas malheureusement, lors de ces essais, d'un wattmètre de puissance suffisante.

On peut néanmoins remarquer que, à charge normale, le nombre de watts apparents par cheval est remarquablement faible; le décalage était donc certainement très petit.

Nous noterons encore que l'éclairage fonctionne avec une fixité absolue et donne en-

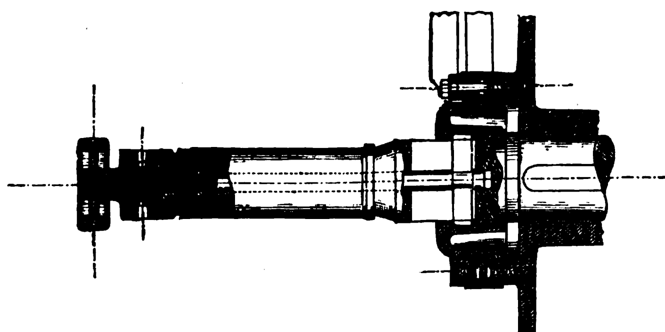


Fig. 7. — Arbre d'un moteur.

tière satisfaction pour l'opération délicate du triage des papiers blancs. L'installation de Romagnano est l'une des premières où l'on ait demandé au système polyphasé de desservir à la fois l'éclairage et des moteurs de grande, moyenne et petite puissance.

A. NIZZOLA.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Fabrication de matières isolantes, procédé R.-F. d'Humy (1).

Suivant ce procédé, on mélange à froid de l'huile de baleine avec du pétrole raffiné auquel on ajoute de l'ozokérite et de la sciure de bois ou de liège. Dans ce mélange, on jette des rebuts de coton ou de fibres puis on y introduit de la paraffine et des matières grasses, de préférence des huiles végétales; on y verse ensuite une certaine quantité d'eau et on fait bouillir. Le coton ou la fibre se dissolvent; on en rajoute une quantité à peu près égale ainsi qu'une faible proportion d'ozokérite, et dès que le mélange est devenu suffisamment visqueux il est retiré du feu et mis à refroidir. Le produit est ensuite converti en rubans pouvant s'appliquer à chaud ou à froid directement sur les câbles.

(1) Brevet anglais n° 5794, 16 mars 1897.

Les mélanges qui ont donné les produits les plus satisfaisants étaient constitués de

Huile de baleine.	15 parties.
Pétrole raffiné	15 »
Ozokérite.	20 »
Cire de paraffine	20 »
Coton.	20 »
Graisse.	10 »
Huile de lin.	10 »
Eau.	10 »

On peut employer l'huile de baleine en proportion double en supprimant le pétrole ou inversement, de même qu'on peut remplacer l'ozokérite par un autre hydrocarbure, et le coton par la cellusose; les produits que l'on obtient ont sensiblement les mêmes qualités isolantes. L. D.

Nouveau dispositif Tesla pour la production des courants de haute fréquence (1).

Ce dispositif, représenté par la figure 1, permet de produire des courants de haute fréquence avec une source de courant continu et sans avoir recours à l'interrupteur à étincelles généralement employé pour obtenir des oscillations rapides dans le circuit primaire. Il se compose de deux condensateurs N et N′ dont les armatures sont respectivement reliées aux conducteurs principaux A et B; deux bobines de self-induction O et O′ sont intercalées entre l'un de ceux-ci et l'une des paires d'armatures; en C est un commutateur tournant formé de deux bagues métalliques c et c' munies chacune de dents d et d' (fig. 1 et 2); entre les dents de ces bagues sont intercalés des plots métalliques isolés e (l'isolant est représenté par le trait épais); sur ce commutateur s'appuient trois balais dont deux, G et G′, sont reliés aux condensateurs et dont l'autre H communique avec une des extrémités du primaire K; L est le secondaire.

Le balai H reposant sur un des plots

(1) *Electrical Engineer* (New-York).

isolés, comme l'indique la figure, les deux condensateurs N et N′ se chargent; si l'on fait tourner le commutateur, H vient en contact avec *d′* et le condensateur N′ se décharge suivant G′, *c′*, *d′*, H, K, B, tandis que,

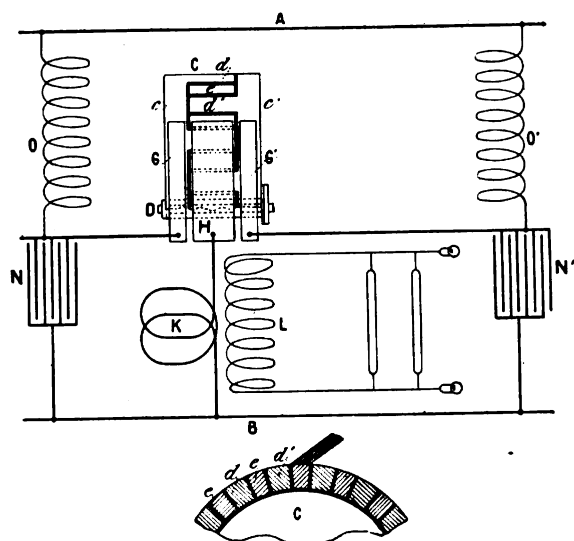


Fig. 1 et 2. — Nouveau dispositif Tesla pour la production des courants de haute fréquence.

par suite de la self-induction de la bobine O qui s'oppose au renversement du sens du courant, le condensateur N, fermé par le circuit O, A, O′, G′, *c′*, *d′*, H, K, B, reste chargé; H venant ensuite en contact avec le plot isolé *e*, les condensateurs se chargent de nouveau, puis, la rotation du commutateur amenant la dent *d* en contact avec H, c'est le condensateur N qui se décharge dans le primaire K; et ainsi de suite, de sorte que le primaire se trouve parcouru par une série de décharges oscillantes.

Outre l'obstacle qu'elles opposent à la décharge de l'un des condensateurs quand l'autre est mis en court-circuit sur le primaire, les bobines O et O′ jouent un autre rôle; au moment où le circuit comprenant l'une d'elles, le circuit A, O′ G′, H, B par exemple, se trouve rompu par le passage du balai H de la dent *d′* sur le plot *e*, il se produit dans la bobine O′ un courant de self-induction de même sens que le courant principal qui charge le condensateur N′ à une différence de potentiel bien plus élevée que celle qui existe entre les conducteurs A et B.

Il est évident que, en modifiant convenablement le commutateur tournant, on peut employer un plus grand nombre de condensateurs disposés en quantité et les décharger successivement dans le primaire. L. D.

Suspension pour moteurs de tramways système N.-C. Bassett (1896).

Le moteur électrique E, du modèle ordinaire, repose à une de ses extrémités sur l'essieu C de la voiture, par l'intermédiaire de paliers et des engrenages contenus dans

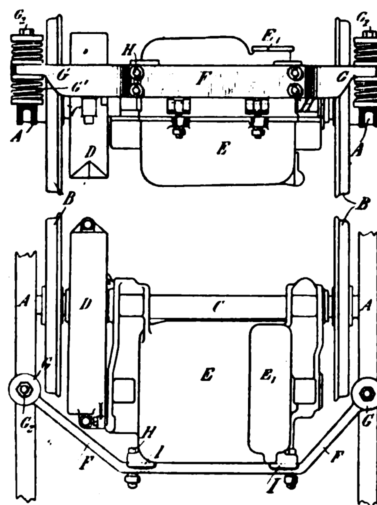


Fig. 1. — Suspension Bassett pour moteurs de tramways, 1896.

la boîte à huile D. A l'autre extrémité, il est muni, à l'extérieur, d'épaulements I qui sont fixés sur une barre rigide F; celle-ci est courbée, comme l'indique le dessin, de façon que ses extrémités G soient toutes deux dans le prolongement de l'axe de l'armature; cette barre repose sur la charpente du truck de la voiture par l'intermédiaire de ressorts puissants G′ et d'une tige verticale G_2. Par cette disposition, le moteur peut tourner facilement autour de l'essieu lors des chocs et des soubresauts de la voiture; en outre, le centre de gravité du moteur correspondant à peu près exactement avec l'axe de l'armature, le

poids supporté par l'essieu sans intermédiaire de ressorts est réduit au minimum, comme il convient. G. P.

Application des courants alternatifs monophasés aux tramways électriques, système Ch. P. Steinmetz (1896).

Les courants alternatifs seraient particulièrement avantageux dans l'exploitation des tramways électriques par suite des facilités qu'ils offrent pour la transmission économique de l'énergie électrique à grandes distances, par suite de la construction des moteurs à courant continu, et par suite enfin de la sécurité qu'ils apporteraient, eu égard aux corrosions électrolytiques qui ont coûté et coûteront encore tant d'argent. Mais les moteurs à courants alternatifs monophasés ne se prêtent pas au service des tramways parce qu'ils ne démarrent pas sous charge. Les courants polyphasés seraient à ce point de vue préférables, mais, par contre exigent 2 conducteurs aériens et 2 trôlets, ce qui est un inconvénient grave.

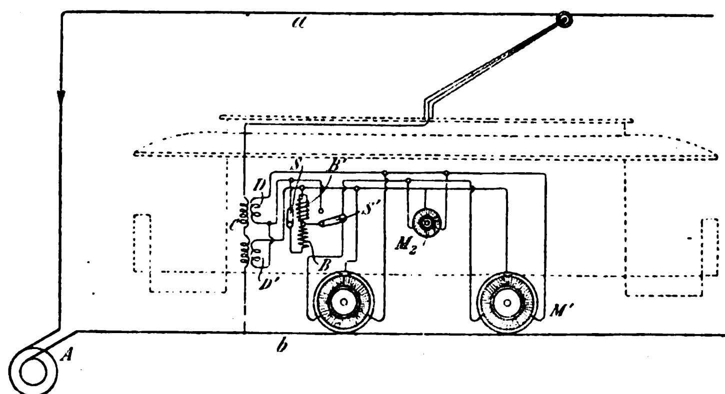


Fig. 1. — Distribution des courants alternatifs pour tramways, système Ch.-P. Steinmetz.

Le système de M. Steinmetz, qui combine les deux procédés, permettrait de participer aux avantages de chacun d'eux.

Le courant alternatif monophasé est collecté sur un conducteur aérien a, par un trôlet ordinaire. Le primaire du transformateur c est formé de deux enroulements montés en série. Le secondaire est également formé de deux enroulements D et D' connectés comme l'indique le schéma (fig. 1). Au point de jonction des deux enroulements secondaires, un troisième conducteur est branché; les deux extrémités de l'enroulement secondaire et ce conducteur auxiliaire sont reliés respectivement aux bornes du circuit inducteur de moteurs triphasés, montés soit en série soit en quantité, à volonté. Lorsque ces moteurs sont ainsi alimentés et qu'ils sont en marche à vitesse normale, ils fonctionnent à peu près comme des moteurs triphasés; leur rendement et la puissance qu'ils peuvent fournir dans ces conditions sont très élevés. Pour permettre de les faire démarrer sous charge, M. Steinmetz dispose sur le circuit des moteurs, soit un petit moteur triphasé auxiliaire, qui est maintenu toujours en mouvement et fournit le décalage de la force électromotrice nécessaire au démarrage, soit un dispositif spécial formé d'une résistance ohmique B et d'une bobine à réaction B', montées en série entre elles et reliées au circuit des moteurs comme l'indique le dessin. Une fois les moteurs en marche, cet organe est mis hors circuit au moyen de commutateurs S et S'.

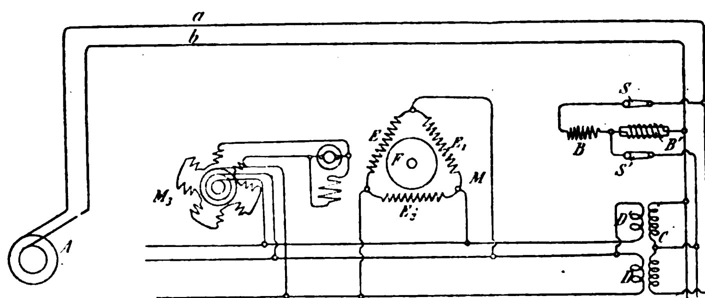


Fig. 2.

Le même procédé de distribution et de mise en marche peut être appliqué à des

moteurs à poste fixe; mais alors comme il n'y a plus d'inconvénient à employer trois lignes de distribution, on dispose les organes servant au démarrage sur le circuit primaire comme l'indique la figure 2. Une fois un seul des moteurs en marche, les commutateurs *s* et *s'* le mettent hors circuit, le décalage de phase produit par le moteur en marche suffisant pour assurer le démarrage des autres moteurs. G. P.

Formules pour transformateurs ;

Par Alexander Russell [1].

Il est assez difficile de présenter d'une façon simple la théorie des transformateurs et surtout d'établir les principales formules qui relient les divers éléments : courants et tensions, lorsqu'on admet la loi sinusoïdale. Si l'on suppose la loi de la tension aux bornes périodique quelconque, la difficulté devient encore plus grande.

L'emploi des méthodes graphiques et la considération des sinusoïdes équivalentes de MM. Steinmetz et Bedell permettent de présenter la théorie du transformateur dans le cas d'une tension aux bornes quelconque sous une forme très simple ; c'est cette théorie que M. Russell vient d'entreprendre et que nous allons reproduire succinctement.

Différences de phase. — Établissons d'abord ce qu'on peut entendre par différence de phase entre deux tensions ou deux courants ne suivant pas la loi sinusoïdale.

Désignons par v_1 et v_2 les valeurs instantanées de ces tensions et par V_1 et V_2 leurs valeurs efficaces. Si nous mettons les deux différences de potentiel v_1 et v_2 en série et si nous mesurons cette somme avec un voltmètre la lecture V que nous obtiendrons ne sera pas en général la somme de V_1 et de V_2.

Construisons alors un triangle dont les trois côtés AB, BC et AC (fig. 1) sont respectivement égaux à V_1, V_2 et V, et complétons le parallélogramme dont AC est une diagonale; l'angle DAB peut être appelé la différence de phase entre v_1 et v_2.

Passons maintenant à la différence de phase entre une différence de potentiel et le courant qu'elle produit dans un circuit de résistance R aux bornes duquel elle est appliquée. Soit v_1 sa valeur instantanée et i celle du courant.

La tension absorbée par la résistance est

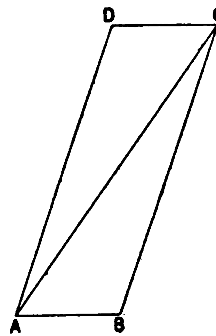


Fig. 1.

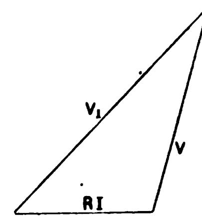


Fig. 2.

R i et est en coïncidence de phase avec le courant. Mais le courant i créant un champ magnétique, donne lieu à une force contre-électromotrice laquelle tend à s'opposer à son passage. Soit v sa valeur instantanée, on a, d'après la loi d'Ohm :

$$i = \frac{v_1 - v}{R},$$

ou :

$$v = v_1 - Ri,$$
$$v^2 = v_1^2 - 2\,Rvi + R^2i^2,$$

équation qui est vérifiée à un instant quelconque.

Divisons la période en un grand nombre d'intervalles égaux et appliquons l'équation précédente à la fin de chaque intervalle; si nous faisons ensuite la somme de toutes les équations obtenues et si nous divisons cette somme par le nombre d'équations, le premier membre sera la moyenne des carrés de v_2^2 pendant une période, c'est-à-dire V^2.

---

[1] *The Electrician* du 26 mars 1897.

Quant au second membre, sa valeur sera de même $V_1^2 - 2RW + R^2I^2$, W étant la valeur moyenne de *ei*, c'est-à-dire le travail moyen pour une période.

Nous aurons donc :

$$V^2 = V_1^2 - 2\,RW + R^2I^2. \qquad (1)$$

Construisons maintenant un triangle ayant pour côté V, V_1 et RI (fig. 2) ; si l'angle que font V_1 et RI est θ, nous en déduirons :

$$V^2 = V_1^2 - 2\,RV_1I\cos\theta + R^2I^2.$$

La comparaison des deux valeurs de V^2 conduit à :

$$W = V_1I\cos\theta, \qquad (2)$$

et θ peut être appelée la différence de phase entre le courant et la différence de potentiel aux bornes ; cette définition s'accorde avec celle faite plus haut puisque V_1 est la résultante de V et de RI.

Les équations (1) et (2) sont indépendantes non seulement de la loi de la tension et du courant, mais aussi de la perméabilité du champ magnétique créé par le courant.

Diagramme d'un transformateur. — Appelons R_1 et R_2 les résistances des deux enroulements, n_1 et n_2 leurs nombres respectifs de spires, v_1 et v_2 les valeurs instantanées des différences de potentiel aux bornes primaires et secondaires et v la valeur instantanée de la force électromotrice induite due aux variations du flux magnétique dans une spire.

Comme plus haut, on voit que l'intensité instantanée i_1 du courant dans le primaire est définie par :

$$i_1 = \frac{v_1 - n_1v}{R_1}.$$

On en déduit par un raisonnement analogue à celui fait précédemment :

$$n_1^2V^2 = V_1^2 - 2\,RW_1 + R_1^2I_1^2, \qquad (3)$$

Or W_1 est la puissance absorbée par le circuit primaire

Traçons un triangle (fig. 3) ayant pour côtés V_1, R_1I_1 et n_1V, l'angle DBC représentera la différence de phase entre le courant et la tension aux bornes. On voit de plus que cette tension peut être regardée comme la résultante de la tension $R_1\,I_1$ perdue dans l'enroulement et d'une tension égale et opposée à la force électromotrice induite, c'est-à-dire annulant cette dernière.

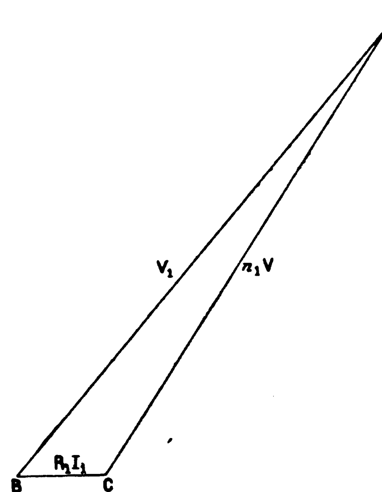


Fig. 3.

En général $R_1\,I_1$ est, en pleine charge, environ un centième de V_1 ; il en résulte que la tension aux bornes est sensiblement opposée à la force contre-électromotrice.

Nous supposerons qu'il n'y a pas de fuites magnétiques. La force électromotrice induite est alors en phase avec DC et est égale à $n_2\,V$; la différence de potentiel aux bornes secondaires est, si le circuit extérieur ou secondaire est sans induction :

$$V_2 = n_2V - R_2I_2, \qquad (4)$$

D'autre part on a :

$$n_2V = \frac{n_2}{n_1}\,n_1V = \frac{n_2}{n_1}\,CD.$$

L'équation (3) donne donc :

$$\frac{n_1^2}{n_2^2}(V_2 + R_2I_2)^2 = V_1^2 - 2\,RW_1 + R^2I_1^2, \qquad (5)$$

équation qui permet de trouver W_1 connaissant les tensions, les courants et les résistances.

En particulier faisons $I_2 = o$ pour avoir les pertes à vide, il vient :

$$W_0 = \frac{1}{2 R_1} \left[V_1^2 + R_1^2 I_0^2 - \frac{n_1^2}{n_1^2} V_2^2 \right]. \qquad (6)$$

Si le fer est suffisamment lamellé pour que les pertes par courants de Foucault soient négligeables, $W_0 - R_1 I_0^2$ donne les pertes par hystérésis. Cette formule due au Dr Fleming [1] peut être employée pour déterminer les pertes par hystérésis d'un échantillon de tôles.

Pratiquement $n_1 V$ étant égal à V_1 et par suite constant, le flux magnétique est également à peu près constant, ne diminuant que d'environ 1 p. 100 quand on passe de la charge nulle à la pleine charge. Les pertes par hystérésis étant proportionnelles à la puissance 1,6 de l'induction, diminue donc très peu avec la charge; si l'induction diminue de 1 p. 100, les pertes décroissent de 1,6 p. 100.

Le flux traversant le circuit magnétique est la résultante des flux propres primaire et secondaire et se trouve par suite créé par la résultante des ampères-tours des deux enroulements. Le flux résultant étant constant, cette résultante l'est donc aussi.

Pour trouver la relation liant les éléments des deux enroulements représentons en BV_1 (fig. 4) la tension primaire et en BC_0 les ampères-tours $n_1 I_0$ à vide, puis traçons $C_0 C$ égal à $n_2 I_2$ et parallèle à BV_1. Le segment BC figurera les ampère-tours primaires et l'angle $CBV_1 = \varphi_1$ sera l'angle de décalage entre le courant et la tension primaire.

Projetons le triangle BC_0C sur une perpendiculaire à BV_0 et sur cette dernière direction nous aurons :

$$I_1 \sin \varphi_1 = I_0 \sin \varphi_0 = \text{constante}, \qquad (7)$$
$$n_1 I_1 \cos \varphi_1 - n_2 I_2 = n_1 I_0 \cos \varphi_0, \qquad (8)$$

où φ_0 est l'angle de décalage entre la tension et le courant à vide. En pratique, dans les transformateurs à circuit magnétique fermé, φ_1 est voisin de o et la formule (7) est sans emploi, mais la formule (8) vérifiée expérimentalement par le Dr Fleming se réduit à :

$$n_1 I_1 - n_2 I_2 = n_1 I_0 \cos \varphi_0, \qquad (9)$$

et est applicable pour toutes les charges où φ_1 est voisin de zéro.

Cas où la charge est inductive. — Jusqu'ici nous avons admis que la charge secondaire

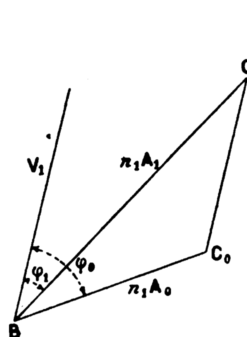


Fig. 4.

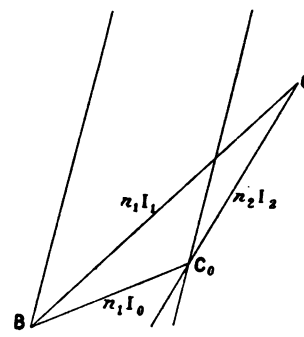


Fig. 5.

était sans induction; supposons maintenant que le décalage entre la tension et le courant secondaire soit α. Les ampères-tours résultants resteront toujours constants et la figure 5 nous donnera :

$$I_1 \sin(\varphi_1 - \alpha) = I_0 \sin(\varphi_0 - \alpha), \qquad (10)$$
$$n_1 I_1 \cos(\varphi_1 - \alpha) - n_2 I_2 = n_1 I_0 \cos(\varphi_1 - \alpha). \qquad (11)$$

Le cas où $\alpha = \varphi_0$ est intéressant, car alors B, C_0 et C sont en ligne droite; le décalage est indépendant de la charge et l'on a :

$$I_1 = I_0 + \frac{n_2}{n_1} I_2.$$

Si α est plus grand que φ_0, le décalage entre la tension et le courant primaire augmente avec la charge.

Cas où le circuit extérieur est formé d'un condensateur. — On sait que le courant alternatif traversant un condensateur est décalé d'un quart d'onde en avant de la différence de potentiel aux bornes. Si donc le secondaire est fermé sur un condensateur, le diagramme sera celui de la figure 6. On voit

[1] *Electrical Laboratory Notes and Forms*, n° 38.

que contrairement à ce qui se passe pour une charge inductive, où les ampères-tours primaires sont toujours plus grands que les

Fig. 6.

ampères-tours secondaires, les premiers peuvent être plus petits que les seconds. La capacité croissant, le décalage de phase peut s'annuler et même le courant primaire peut être en avance sur les tensions aux bornes.

Ce que nous venons de dire suppose qu'on maintienne la tension constante aux bornes primaires; il est intéressant de voir comment doit varier la force électromotrice induite dans l'alternateur pour qu'il en soit ainsi.

Soit toujours BV_1 (fig. 7) la différence de

Fig. 7.

potentiel aux bornes primaires, et BC_0 les ampères-tours à circuit secondaire ouvert. La force électromotrice induite dans la machine est la composante de la tension aux bornes du transformateur et de la tension BV_0, résultante de la force contre-électromotrice de self-induction de la machine et de la ligne, perpendiculaire à BC_0, et de la chute ohmique dans ces deux parties du circuit. La tension BV_0 est proportionnelle à I_0.

Si nous fermons le secondaire par un transformateur le décalage entre BV_1 et I_1 diminue et la tension nécessaire pour vaincre la self-induction et la résistance ohmique de l'alternateur et de la ligne tourne autour du point B, de façon à ce que l'angle CBV reste le même, puisque la résistance apparente de l'induit et de la ligne est constante.

De plus, BV étant proportionnel à I_1 est aussi proportionnel à BC; il en résulte que lorsque la capacité varie, le lieu du point V est une droite telle que l'angle HV_0B soit égal à l'angle CC_0B.

La force électromotrice induite étant la résultante de BV et BV_1 est égale au double de BE, joignant le point B au milieu de VV_1, et le lieu du point E est évidemment la droite KE_0 parallèle à KV_0.

Pour des capacités croissantes et pour un voltage constant aux bornes primaires, on voit que la force électromotrice induite dans l'alternateur, passe par un minimum qui a lieu lorsque BE est perpendiculaire à EK.

Inversement, si la force électromotrice induite dans la machine est constante, la présence d'un condensateur de capacité croissante dans le secondaire d'un transformateur alimenté par cette machine, aura pour effet

Fig. 8.

d'augmenter le voltage aux bornes primaires jusqu'à un certain maximum, pour l'abaisser après.

La courbe (fig. 8) représentant les varia-

tions de V_1 en fonction de la capacité est facile à obtenir en remarquant qu'on a :

$$V_1 = \frac{BE_0}{BE} V,$$

V étant la force électromotrice induite de l'alternateur.

On pourra obtenir de la même façon la courbe de variations de la tension aux bornes primaires en fonction d'une charge inductive.

Chute de tension sans fuites magnétiques. — Revenons à la figure 3, on a :

$$CD = \frac{n_1}{n_2}(V_2 + R_2 I_2),$$

et comme l'angle CDB est très petit :

$$V_1 = \frac{n_1}{n_2}(V_2 + R_2 I_2) + R_1 I_1 \cos \varphi_1,$$

ou en tenant compte de (8) :

$$V_1 = \frac{n_1}{n_2} V_2 + \frac{n_1}{n_2} R_2 I_2 + R_1 \left(\frac{n_2}{n_1} I_2 + I_0 \cos \varphi_0\right),$$

d'où :

$$V_2 = \frac{n_2}{n_1} V_1 - \left[R_2 + \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 R_1\right] I_2 - \frac{n_2}{n_1} R_1 I_0 \cos \varphi_0, \quad (12)$$

formule qui est très utile et est indépendante de la forme de la courbe de la différence de potentiel aux bornes.

Transformateurs fonctionnant comme modificateurs de tension. — Après l'étude d'un transformateur fonctionnant dans les conditions ordinaires, l'auteur donne à nouveau [1] celle d'un transformateur modificateur de tension.

Considérons d'abord le cas d'un transformateur abaisseur dont le montage sur le circuit de distribution est représenté sur la figure 9.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 409, 27 février 1897.

La différence de potentiel entre BC est plus petite que celle entre AB que nous supposerons constante.

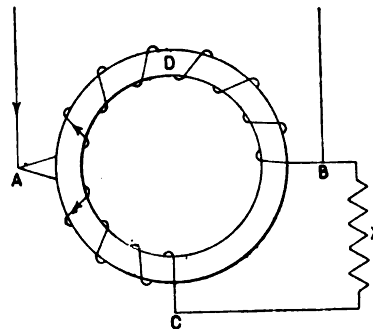


Fig. 9.

Lorsque la résistance x du circuit extérieur est très grande les courants dans les deux enroulements tendent à magnétiser l'anneau dans le même sens. Si elle diminue, le courant augmente dans la bobine AC et il en est de même du flux dans la bobine ADB où la force électromotrice induite est en opposition avec la différence de potentiel aux bornes. Le courant dans cette bobine diminuera jusqu'à ce que la force contre-électromotrice due aux variations de flux soit supérieure à la tension aux bornes; à partir de ce moment il augmentera. Le courant est alors à peu près en opposition avec la différence de potentiel agissante, de sorte que la branche ADB fournit de l'énergie à la branche AC.

Ces actions se comprennent mieux sur le diagramme de la figure 10; OD est la tension aux bornes AB, OB_0 la tension perdue dans la résistance et B_0D la force contre-électromotrice. S'il n'y a pas de fuites magnétiques la force électromotrice induite dans AC est égale $\frac{n_2}{n_1} DB_0$ (n_1 et n_2 étant les nombres de spires des bobines ADB et AC). Portons cette quantité en DC_0, le vecteur OC_0 représentera la tension aux bornes B et C à vide.

Pour une certaine charge, les ampères-tours magnétisants résultant augmentent et avec eux l'induction et la force électromotrice induite, soit B_0B cette augmentation pour la bobine ADB_0. Pour la bobine AC la tension

sera maintenant égale à B $\frac{n_2}{n_1}$ DB et devra être portée en DC pour obtenir en OC la tension aux bornes B et C, augmentée de la chute ohmique $R_2 I_2$ dans AC, OB et OC représente les courants I_1 et I_2 en direction, on voit qu'ils sont à peu près en opposition de phase.

La direction des ampères-tours résultants coïncide toujours avec OB_0, mais sa valeur augmente un peu avec la charge.

On obtient facilement les relations en projetant sur la perpendiculaire à OB_0 et sur OD :

$$\frac{n_1 I_1}{n_2 I_2} = \frac{\sin(\varphi_0 - \varphi_2)}{\sin(\varphi_1 - \varphi_0)}, \qquad (13)$$

et

$$n_1 I_1 \cos\varphi_2 + n_2 I_2 \cos\varphi_2 = n_1 I_0 \cos\varphi_0 + k I_2,$$

k étant petit comparé à n_1 et n_2.

Comme l'angle φ_2=DOC est généralement très petit et OD et DB sont très grand par rapport à OB_0, on peut écrire :

$$n_1 I_1 \cos\varphi_1 + n_2 I_2 = n_1 I_0 \cos\varphi_0 + k I_2, \qquad (14)$$

La chute de tension, lorsque la charge augmente, est facile à calculer. On a (fig. 10).

$$\text{OC} \cos\varphi_2 - \text{OB} \cos\varphi_1 = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \text{DB}$$
$$= \frac{n_1 - n_2}{n_1} (V_1 - \text{OB} \cos\varphi_1),$$

et comme :

$$\text{OC} = (R + x) I_2 = R_2 I_2 + V_2, \quad \varphi_2 = 0, \quad \text{OB} = R_1 I_1,$$

on trouve, en se servant de la formule (14)

$$V_2 = \frac{n_1 - n_2}{n_1} V_1 - \left[R_2 + \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 R_1\right] I_2$$
$$+ \frac{n_2}{n_1} \left[R_1 I_0 \cos\varphi_0 + \frac{k}{n_1} I_1\right], \qquad (15)$$

Cette formule est à comparer avec celle (12) donnant la chute de tension dans un transformateur ordinaire dont les nombres de spires seraient n_1 et $n_1 - n_2$. Si la section du fil sur le secondaire est la même, la résistance de l'enroulement secondaire sera :

$$R'_2 = R_2 \frac{n_1 - n_2}{n_2},$$

on aura donc :

$$V_2 = \frac{n_1 - n_2}{n_1} V_1 - \left[\frac{n_1 - n_2}{n_2} R_2 + \frac{(n_1 - n_2)^2}{n_1^2} R_1\right] I_2$$
$$- \frac{n_1 - n_2}{n_1} R I_0 \cos\varphi_0.$$

En comparant ces deux expressions et en remarquant que le dernier terme de chacune est négligeable, on voit que si l'on voulait abaisser la tension de moins de 50 p. 100 l'appareil employé comme transformateur-modificateur dans un voltage plus constant que lorsqu'on emploie comme transformateur ordinaire; c'est l'inverse dans le cas contraire.

Survolteur. — Le fonctionnement d'un

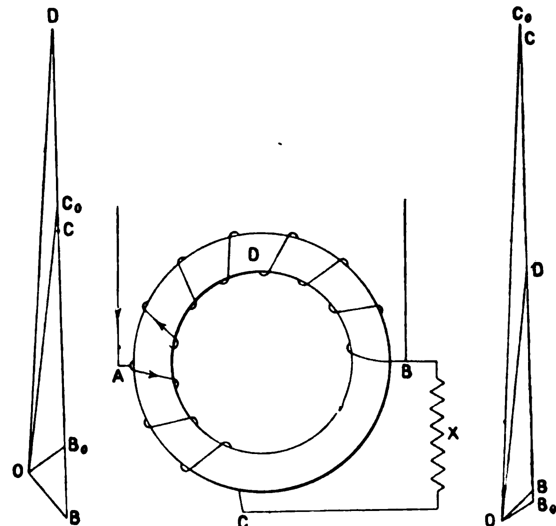


Fig. 10. Fig. 11. Fig. 12.

survolteur (fig. 11) à courant alternatif s'expliquerait de même; le diagramme est représenté sur la figure 12; dans ce cas la tension $\frac{n_2}{n_1}$ DB_0 doit être portée sur le prolongement de B_0D.

Les relations analogues aux précédentes sont ici :

$$\frac{n_1 I_1}{n_2 I_2} = \frac{\sin(\varphi_2 + \varphi_0)}{\sin(\varphi_0 - \varphi_1)},$$
$$n_1 I_1 \cos\varphi_1 - n_2 I_2 = n_1 I_0 \cos\varphi_0 - k I_2,$$

et

$$V_2 = \frac{n_1 + n_2}{n_1} V_1 - \left[R_2 + \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 R_1\right] I_2$$
$$- \frac{n_2}{n_1} \left[R_1 I_0 \cos\varphi_0 - \frac{k}{n_1} I_2\right].$$

Cette dernière formule montre que l'emploi d'un survolteur est préférable à celui d'un transformateur lorsque la tension doit être élevée de moins de 50 p. 100.

Compensateur. — Le compensateur consiste, comme on le sait, en une bobine de réaction partagée en un certain nombre de parties aux bornes desquelles sont branchés les circuits secondaires.

Considérons (fig. 13) l'un de ces circuits

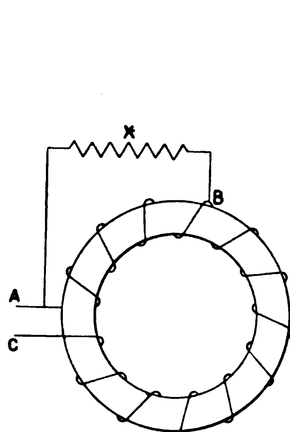


Fig. 13.

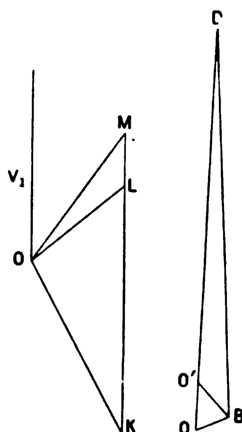


Fig. 14.



Fig. 15.

branché entre AB. Soient n_1 et n_2 les nombres de spires des enroulements AB et BC. La tension entre A et B est évidemment $\frac{n_1}{n_1+n_2}$ V_1, V_1 étant la différence de potentiel entre A et C. Nous allons chercher la chute de tension entre AB en fonction de la charge du circuit X et la comparer à celle qu'on obtiendrait avec un transformateur ordinaire.

Soient I_0 le courant à vide, I_1 le courant dans la section AB et I_2 celui dans BC pour un courant I dans le circuit X.

La tension aux bornes AB restant constante, le flux l'est également et par suite la résultante des ampères-tours restera égale à (n_1+n_2) I_0.

Le diagramme de la tension et des courants est représenté sur la figure 14. OV_1 est la tension, OM le courant I_2, et OK le courant I_1. Le courant I est la différence entre I_2 et I_1, c'est-à-dire MK, et doit être parallèle à OV_1.

Prenons un point L sur MK tel que :

$$\frac{ML}{LK} = \frac{n_1}{n_2}.$$

Le segment OL représentera le courant à vide. Pour le montrer il suffit de remarquer qu'on a, en considérant les segments représentant les ampères-tours, les sommes géométriques :

$$n_1 [OM] = n_1 [OL] + n_1 [LM],$$
$$n_2 [OK] = n_1 [OL] + n_2 [LK],$$

d'où en ajoutant géométriquement membre à membre, et en remarquant que par construction

$$n_1 [LM] = n_2 [KL] = - n_2 [LK],$$
$$n_1 [OM] + n_2 [OK] = (n_1 + n_2) [OL].$$

Ceci posé, on a donc :

$$LM = \frac{n_1}{n_1 + n_2} I \quad \text{et} \quad LK = \frac{n_2}{n_1 + n_2} I.$$

On trouverait d'autre part, en projetant les segments représentant les ampères-tours sur OV_1 :

$$n_1 I_1 \cos \varphi_1 + n_2 I_2 \cos \varphi_2 = (n_1 + n_2) I_0 \cos \varphi_0.$$

On voit sur la figure que I augmentant I_1 passe par un minimum et tend à devenir en opposition de phase avec V_1, montrant ainsi que le circuit extérieur emprunte son énergie à BC. En pratique I_0 est très petit et par suite aussi le minimum de I_1.

Pour trouver la chute de tension construisons le diagramme de l'appareil. Prenons (fig. 15) OD égal $\frac{n_1}{n_1+n_2}$ V_1 et OB_0, faisant avec OD l'angle V_1 OL ou φ_0, égal à R_1 I_0. B_0 D sera la force contre-électromotrice.

Traçons ensuite BO_1 égal à R_1 I_1, la nouvelle tension aux bornes sera DO^1; si V_2 est cette nouvelle tension; on a :

$$V_2 = OD - R (I_1 \cos \varphi_0 - I_1 \cos \varphi_1)$$
$$= \frac{n_1}{n_1 + n_2} V_1 - R_1 \frac{n_2}{n_1 + n_2} I.$$

Comparons-la avec celle d'un transformateur ordinaire ayant $n_1 + n_2$ spires primaires et n_1 spires secondaires, laquelle est :

$$V_2 = \frac{n_1}{n_1 + n_2} V_1 - \left[R_2 + \left(\frac{n_1}{n_1 + n_2} \right)^2 R_1 \right] I$$
$$- \frac{n_1}{n_1 + n_2} R_1 I_0 \cos \varphi_0$$

on voit que le compensateur règle mieux que le transformateur.

Il est bon de remarquer que le courant, dans les conducteurs principaux, est exactement le même dans les deux cas, transformateur et compensateur (fig. 4 et 14) pour une même charge du secondaire.

Le compensateur a donc un avantage théorique sur le transformateur. Pratiquement il pourrait être employé au lieu d'un transformateur jusqu'à 400 volts environ.

J. R.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du vendredi 21 mai 1897.

Le compte rendu officiel de la séance précédente contient un très court résumé d'une lettre adressée par M. Blondel, dont M. le Secrétaire général avait annoncé la réception sans la lire. Dans cette lettre M. Blondel « fait remarquer que l'oscillographe présenté par lui en 1893 et celui de M. Abraham répondent à des besoins différents. Il serait nécessaire toutefois d'appliquer à l'appareil de M. Abraham la condition d'apériodicité critique indiquée par M. Blondel et résultant de la réapparition des termes exponentiels que M. Abraham n'a pas fait figurer dans l'intégrale particulière de l'équation, faute de quoi on a des déplacements du zéro. Ces déplacements, dont l'oscillographe de M. Blondel est exempt, ne peuvent, semble-t-il, pas être évités dans l'inscription d'une décharge simple.

M. Abraham répond par une courte note dans laquelle il fait observer d'abord que l'étude des clichés qu'il a obtenus semble indiquer que son oscillographe [1] enregistre fidèlement les courbes du courant ; il rappelle en particulier, la courbe de décharge oscillante d'un condensateur et celle du courant discontinu qui sert à l'entretien électrique d'un diapason ; la courbe monte régulièrement et la rupture est assez brusque pour n'avoir pas de durée mesurable sur le cliché.

M. Abraham ne pense pas qu'il soit *nécessaire* d'appliquer la condition d'apériodicité critique. La durée d'oscillation propre du galvanomètre, qui est de l'ordre de 1 seconde, est très grande par rapport à celle de l'impulsion à étudier, de sorte que le cadre est dévié, puis revient à sa position d'équilibre, en quelque sorte avant d'avoir eu le temps d'osciller pour son propre compte.

Enfin les termes apériodiques n'existent pas quand le galvanomètre part de la position d'équilibre. En effet l'angle θ de déviation est donné par l'équation

$$K \frac{d^2\theta}{dt^2} + A \frac{d\theta}{dt} + C\theta = Gi, \qquad (1)$$

et le courant I a étudier satisfait à la même équation

$$K \frac{d^2 I}{dt^2} + A \frac{dI}{dt} + CI = \lambda i, \qquad (2)$$

si les conditions initiales sont les mêmes $\left(\theta = 0, \frac{d\theta}{dt} = 0 \text{ et } I = 0, \frac{dI}{dt} = 0\right)$ l'équation

$$\theta = \frac{G}{\lambda} I,$$

est l'intégrale générale ; les termes exponentiels sont nuls. Il faut, bien entendu, que les coefficients de l'équation (1) soient des constantes.

(1) M. Abraham propose, pour désigner l'appareil, le terme *rhéographe*, qui est formé de deux mots grecs. Pour la description de l'instrument et la forme des inscriptions, voir *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 145, 17 avril 1897.

M. le D[r] Foveau de Courmelles présente un *nouvel appareil cathodique donnant lieu à une production simultanée de rayons X et de lumière stratifiée* (1).

Deux tubes focus, aussi semblables que possible et réunis par une ampoule intermédiaire, donnent lieu à des phénomènes très différents quand on les met en série sur une même bobine. L'un d'eux seulement, celui dont la cathode est reliée directement à la bobine, donne naissance à des rayons cathodiques et à des rayons X; dans l'autre se produit une décharge stratifiée. Quand les deux tubes sont en dérivation l'un des deux seul produit des rayons X d'une façon certaine; la décharge ne passe dans l'autre que par intermittences. Ces phénomènes seraient dus à un transport de la matière qui serait repoussée par la cathode.

M. Villard fait observer qu'il est impossible de conclure des apparences lumineuses présentées par un point d'un tube dans la décharge au degré de vide qui règne en ce point; l'aspect de la décharge est fonction essentiellement de la forme de l'ampoule et de la disposition des électrodes. Dans un même tube, il varie beaucoup avec le sens de la décharge; MM. Hurmuzescu et Chabaud ont présenté à la Société un tube qui produisait des rayons X pour un sens du courant et qui fonctionnait comme tube de Geissler pour le sens contraire. A un certain degré de vide presque tous les tubes présentent la même propriété. La nature de la décharge influe beaucoup; M. Villard possède un tube qu'une décharge d'une bobine de 15 cm d'étincelle ne peut pas traverser; si l'on ajoute un condensateur, la décharge passe très facilement. M. Crookes a établi qu'il ne se produit de chute rapide de potentiel qu'au voisinage de la cathode; on peut le montrer en collant une bande de papier d'étain au niveau de la cathode et une autre à 1 mm de distance; de fortes étincelles jaillissent entre les deux; si l'on renverse le sens de la décharge, les étincelles disparaissent. Dans l'expérience de M. Foveau de Courmelles, il se produit vraisemblablement cette chute de potentiel à la première cathode qui fonctionne seule de façon à donner des rayons cathodiques. Quand les tubes sont en parallèle, si la matière est chassée de l'un elle devrait s'accumuler dans l'autre d'où elle serait chassée à son tour et il y aurait une succession d'alternances. Pour soumettre directement l'hypothèse au contrôle de l'expérience, il faudrait pendant la décharge pouvoir séparer les deux tubes, en les scellant.

M. Foveau de Courmelles répond qu'il ne tient pas particulièrement à l'hypothèse qu'il a émise et qui lui a paru séduisante. Il signale encore un fait inexplicable; on peut obtenir simultanément des rayons X dans les deux tubes à un vide extrême où il ne s'en produirait pas dans un tube isolé. C. R.

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 271, 1[er] mai 1897.

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE DE LONDRES

Séance du 14 mai 1897.

Le professeur Carey Foster lit une communication de M. D. K. Morris sur *l'effet de la température sur les propriétés électriques et magnétiques du fer*.

L'auteur a mesuré simultanément et à diverses températures la perméabilité magnétique, l'hystérésis et la résistance électrique du fer. Les échantillons soumis aux essais sont des rubans de fer enroulés en anneau. Le ruban est d'abord enveloppé de papier d'amiante et de mica, puis enroulé sur lui-même jusqu'à ce que l'anneau formé ait l'épaisseur requise. Un fil de platine est inséré dans l'enveloppe en mica, pour la détermination de la température. Chaque anneau est entouré de trois enroulements : 1° une bobine magnétisante, 2° une bobine connectée à un galvanomètre balistique, 3° une bobine pour chauffage électrique; le ruban est lui-même relié à un pont de Wheatstone pour la mesure de sa résistance. La bobine de chauffage per-

met d'élever la température jusqu'à 1050° C; à cette haute température l'échantillon doit être placé dans une atmosphère ne contenant pas d'oxygène; on fait le vide dans le récipient qui le contient et on absorbe les dernières traces d'oxygène par un fil de fer porté au rouge au moyen d'un courant électrique. Les courbes obtenues montrent que l'hystérésis diminue quand la température s'élève et qu'elle devient nulle vers 764° C.

Sur la proposition du professeur Ayrton la discussion de cette communication est ajournée jusqu'à la publication des résultats.

M. Rollo Appleyard fait ensuite une communication sur la *formation de pellicules de mercure par un procédé électrique*.

Si l'on place une feuille de cuir humide entre deux masses de mercure et qu'on y fasse passer un courant, une pellicule de mercure se forme sur la surface reliée au pôle positif de la source et cette pellicule se maintient sur la feuille après qu'on a retiré celle-ci du mercure. Si l'on remet en place le diaphragme et qu'on y fasse passer un courant de sens inverse à celui de la première expérience la pellicule disparaît mais une autre se forme sur l'autre surface. Le cuir peut être remplacé par bien d'autres substances: papier à filtre, papier d'amiante, plâtre de Paris, etc.; un courant d'au moins un cinquantième d'ampère est nécessaire.

Une feuille de papier d'étain placée entre deux feuilles de papier à filtre est perforée de trous, comme si on la perçait avec une aiguille, quand on fait passer le courant d'une surface à l'autre, que les électrodes extérieures soient constituées par du mercure ou des lames métalliques; si on prend comme électrodes des feuilles de papier d'étain, celles-ci sont perforées comme la feuille interne.

Dans une autre expérience une pièce d'or est placée entre les feuilles de papier à filtre; le passage du courant produit une décoloration de l'or, qui pénètre les feuilles de papier. L'auteur pense que ce fait peut rendre compte de la formation des filons et des veines métalliques qui existent dans les roches.

M. S.-P Thompson dit qu'il ne connaissait aucun phénomène où l'anode fût plus active, mécaniquement, que la cathode, autre que l'arc électrique; il est surpris que la pellicule apparaisse sur la surface positive.

M. Shelford Bidwell pense que le sélénium présente, dans quelques-unes de ses actions, un exemple d'une plus grande activité de l'anode.

M. Appleyard répond qu'il n'a pas d'idée bien définie sur l'explication de la formation des pellicules qu'il a obtenues; il croit qu'il y a là un effet électrolytique secondaire, aidé par l'osmose électrique. J. B.

Propriété nouvelle des rayons cathodiques qui décèle leur composition complexe;

Par H. Deslandres [1].

« Dans une note précédente [2], j'ai exposé les recherches entreprises à l'Observatoire de Paris sur les actions mutuelles des rayons cathodiques et des corps placés à l'intérieur des tubes à gaz raréfié. J'ai montré que tous ces corps conducteurs ou isolants, influent sur la direction des rayons cathodiques, alors même qu'ils sont anodes ou simplement isolés. Lorsqu'ils sont cathodes ou reliés à la terre, l'action exercée est seulement plus forte en général et d'ailleurs répulsive [3].

» Or, dans ces premières recherches, j'ai observé le fait suivant, que j'ai étudié ensuite par des expériences spéciales, et qui est général.

» *Lorsqu'un rayon cathodique est dévié par un corps voisin, le plus souvent il se divise en*

---

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 945, séance du 3 mai 1897.

(2) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 115, 10 avril 1897.

(3) La déviation des rayons a été notée attractive ou répulsive, le point de départ des déviations étant la position des rayons, lorsque le corps agissant est isolé; mais si l'origine des déviations correspond au cas où le corps est anode, les actions sont seulement répulsives.

même temps en plusieurs rayons distincts qui sont inégalement déviés. Les seconds rayons qui étaient réunis dans le rayon primitif se trouvent ainsi séparés.

» Cette propriété des rayons cathodiques n'avait pas encore été signalée.

» Pour cette étude, j'emploie à l'intérieur du tube un écran percé en son milieu d'une fente fine. En deçà de l'écran se trouve la cathode principale. Dans la partie au delà de l'écran on observe sur le verre l'ombre portée par l'écran et, en son milieu, la raie brillante de la fente.

» Le tube, d'autre part, ainsi que dans les recherches de la note précédente, est illuminé par une bobine de Ruhmkorff ordinaire dont les bornes sont réunies aux électrodes, sans solution de continuité, et sans organes supplémentaires.

» Dans un premier tube [1], qui est celui de la note précédente, la cathode principale est un disque plan rectangulaire ; à côté se trouvait une seconde cathode, mobile, et également plane et rectangulaire. Lorsque chaque cathode est reliée séparément au pôle négatif, la raie brillante de la fente est simple et fine ; et, lorsqu'on réunit les deux cathodes, la répulsion habituelle se produit ; mais alors, au lieu d'avoir deux raies brillantes, on en a trois ou même quatre distinctes, pour certaines positions de la cathode mobile. Les conditions sont telles qu'une même cathode a dû, sous l'influence de la voisine, émettre deux faisceaux cathodiques distincts, de directions différentes. Si l'on déplace l'écran dans le tube, les cathodes étant fixes, la multiplication des raies se maintient sur une étendue notable du champ.

» Cette division curieuse des rayons n'est pas spéciale à ce tube muni de deux cathodes ; elle se produit avec une cathode unique qui présente deux surfaces voisines formant un angle, et en particulier avec le disque qui constitue la cathode des tubes ordinaires, dans la partie du tube où ce disque est réuni au verre par un fil normal au disque [1]. La même division se présente aussi dans les circonstances où apparaissent les surfaces d'interférence de Jauman, et les *Summation Gebilde* de Wiedemann et Schmidt.

» Cependant l'interprétation du phénomène est absolument claire, quand on se place dans les conditions les plus favorables, quand on agit sur un rayon cathodique bien isolé, et à une certaine distance de la cathode, de manière à avoir de fortes déviations.

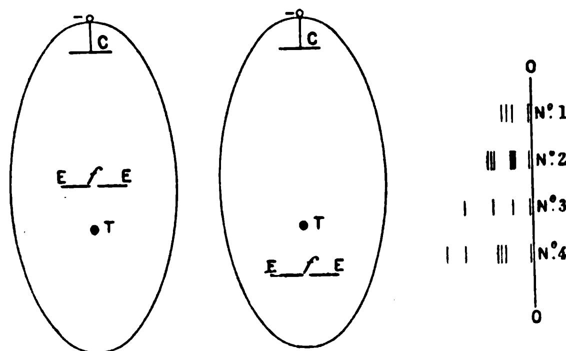


Fig. 1.

» La cathode, unique, a la forme la plus simple et est un disque plan circulaire ; à une certaine distance, on soude un petit appareil que j'appelle *explorateur du champ*. Cet appareil est un bouchon rodé qui, se prolongeant dans le tube, porte d'une part l'écran EE isolé et sa fente F, et d'autre part un fil métallique T, laissé à nu, parallèle à la fente et relié à l'extérieur.

» Dans la position (1), le rayon, après avoir été isolé par la fente, passe à côté du fil métallique. Lorsque ce fil est isolé, la raie brillante de la fenêtre est simple et fine ; mais si l'on relie le fil T au pôle négatif ou à la terre, la raie se divise en plusieurs raies moins

(1) Sur les trois tubes qui ont servi à ces expériences, deux ont été construits par la maison Chabaud, le troisième par la maison Séguy.

(1) La déviation inégale des rayons peut les séparer complètement. On explique ainsi facilement les résultats au premier abord singuliers de Jaumann qui, avec une cathode concave, obtient sur le verre un cercle brillant entouré d'un anneau distinct et brillant, l'anneau étant d'ailleurs plus sensible aux influences extérieures.

intenses, inégalement déviées. La dispersion des raies diminue lorsque le rayon est éloigné du fil. Elle est maxima lorsque le fil est cathode; mais alors on est gêné par le rayonnement cathodique du fil. Aussi est-il préférable de le relier à la terre, la déviation étant dans nos expériences diminuée environ de la moitié.

» L'action du fil mis à la terre s'étend au champ cathodique tout entier, car si l'on tourne le bouchon de 180° environ (deuxième position), les raies brillantes sont encore multiples, la séparation des raies variant toujours avec la distance au fil.

» Je reproduis ci-contre le relevé précis des raies déviées, fait sur le verre du tube dans plusieurs cas; la raie o étant la raie simple que donne la fente au début, lorsque le fil est isolé.

» Si, avec un même tube, on emploie des bobines différentes, les images des raies dispersées présentent des différences et, en même temps, des points communs [1]. Les raies les plus déviées apparaissent aux très basses pressions.

» La séparation, la dispersion des raies augmentent en même temps que la surface du fil T estimée parallèlement aux rayons; elle augmente aussi avec la différence de potentiel entre le fil et l'anode pour une même différence de potentiel entre l'anode et la cathode.

» Cette division par l'action d'un corps voisin peut être rapprochée d'une division analogue réalisée par l'action de l'aimant dans les expériences de Lénard et de Birkeland. Le manque d'aimants convenables ne m'a pas permis de reconnaître si la division du rayon était le même dans les deux cas.

» La complexité du rayon cathodique est nettement décelée par ces recherches; elle doit contribuer à nous faire connaître la nature exacte de ces rayons, qui nous échappe encore [1]. Dans cet ordre d'idées, on est conduit à poser les questions suivantes : les rayons inégalement déviés ont-ils la même vitesse de propagation? Sont-ils émis successivement ou simultanément? Comment varie leur déviation pour des distances croissantes à la cathode? La difficulté des observations dans le vide ne permet pas une réponse immédiate.

» Ces recherches, d'ailleurs, ont un réel intérêt non seulement pour les physiciens, mais pour les astronomes. Les conditions nécessaires à la production des rayons cathodiques se présentent dans les corps célestes et en particulier dans l'atmosphère solaire. On peut, sur cette division des rayons cathodiques, appuyer une théorie des comètes qui explique la division de leur queue [2]. »

(1) On est ainsi conduit à penser que cette division par l'action d'un corps voisin pourra fournir : 1° un moyen original d'étudier les appareils électriques qui produisent de hauts potentiels; 2° un caractère distinctif de la nature chimique du gaz intérieur et même de la cathode.

(1) Cependant ces premiers résultats sont plutôt favorables à la théorie du bombardement moléculaire, présentée par Crookes.

(2) Ces recherches ont été faites avec l'aide de mes deux assistants, Millochau et Mittau.

Sur les rayons cathodiques et quelques phénomènes dans les tubes à vide;

Par C. Maltézos [3].

« Nous avons fait des observations [4] dans les tubes à vide, dont nous demandons à l'Académie de lui communiquer les plus intéressantes.

» Le tube utilisé avait la forme d'une poire, les électrodes se terminant à deux disques en aluminium, dont l'un était placé à l'extrémité étroite du tube, tandis que l'autre était dans la partie renflée, les surfaces des deux disques étant perpendiculaires entre elles. A l'anticathode se forment un anneau lumineux et une tache centrale.

(3) *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 1084, séance du 17 mai 1897.

(4) Les expériences ont été exécutées au laboratoire de Physique de l'Université d'Athènes, avec l'assistance de mon aide, à l'École militaire, M. le Dr C. Botsis.

» Si le disque, dans la partie étroite, sert comme cathode, voici les phénomènes que nous avons observés :

» 1. Si nous touchons, avec le doigt, le tube près du disque cathodique, on observe *l'attraction des rayons cathodiques; alors le verre sous le doigt est rendu plus phosphorescent, et tout le faisceau cathodique se dévie vers la main. On voit en même temps que, sur l'anneau anticathodique, la phosphorescence devient plus forte vers le doigt, et la tache centrale subit une transformation comme si elle était soumise à une pression, de circulaire étant devenue elliptique*, dont le petit axe se dirige vers le doigt. La concentration de la phosphorescence suit la main, se déplaçant dans le même sens. En même temps, se déplace le foyer des rayons X ; car, sur l'écran phosphorescent de Rœntgen, on voit une partie plus brillante se déplaçant avec la main.

» Il n'y a attraction des rayons cathodiques que dans le cas où la main, ou un corps conducteur communiquant au sol, touche le tube autour de la cathode, si la distance du point de contact et l'intensité du courant sont convenables.

» Le phénomène a aussi lieu si l'on y touche avec une des armatures d'une bouteille de Leyde, dont l'autre armature communique au sol. La bouteille se remplit d'électricité que nous avons trouvée être *positive*. Cela indique que tout conducteur, touchant la paroi externe du tube, *s'électrise par influence*, et que l'électricité qui influe est négative. Le corps électrisé négativement se trouve dans le tube, et, comme on sait, d'une expérience de M. J. Perrin, que les rayons cathodiques portent de l'électricité négative, on peut en conclure l'existence de matière, le long des rayons cathodiques, qui influe.

» 2. Si le phénomène précédent est dû, sans contredit, à l'influence électrostatique, on ne peut pas attribuer à la même cause le phénomène du même ordre que voici :

» Si le fil conducteur qui va de la cathode à la bobine est posé près du tube, ou en contact avec lui, le faisceau s'attire aussi vers le fil ; et si une série d'étincelles éclate entre le fil et le tube, le faisceau cathodique s'attire et revient à sa position primitive alternativement. Il faut ici noter que l'électricité du fil est aussi négative ; par conséquent, si le phénomène était dû à l'influence électrostatique, on aurait répulsion.

» *Le phénomène est dû à l'action électromagnétique entre le courant qui part de la cathode suivant le fil et le courant de la matière cathodique;* en effet, les deux courants sont de même sens, si on les considère comme parallèles, ou s'éloignant en même temps du point de leur rencontre.

» Le premier phénomène montre que, dans le phénomène cathodique, il y a de la matière électrisée influant ; le second montre aussi que cette matière chemine le long des rayons cathodiques, partant de la cathode.

» 3. Le premier phénomène se complète ainsi. Il y a devant l'anode une lumière bleuâtre qui, examinée au spectroscope, donne le spectre linéaire de l'azote. Si donc on touche le tube avec le doigt à un point de la partie renflée, *la lumière anodique subit une répulsion énergique* [1]. La même chose a lieu si l'on intervertit le sens du courant, quand toute l'étendue étroite se remplit par la lumière anodique. Cette lumière ne paraît pas être en contact avec la paroi.

» Cette répulsion pourrait être expliquée

[1] La répulsion de la lumière anodique a toujours lieu, tandis que pour l'attraction cathodique il faut, comme on l'a vu, des conditions spéciales. Cela peut être expliqué par le peu de mouvement que doit posséder la matière dans la lumière anodique.

Les stratifications, dans les tubes Geissler. subissent auss de la répulsion par la main ou par un conducteur communiquant au sol. Une bouteille de Leyde, touchant le tube *tout près de la cathode, prend de l'électricité négative, tandis que là où commencent les couches de la lumière stratifiée la bouteille prend de l'électricité positive*. La matière des couches est donc électrisée positivement.

Dans la partie renflée du tube Geissler contenant l'anode j'ai fait l'observation curieuse suivante : sous le doigt en contact avec la paroi interne, il y a concentration de lumière et répulsion de la couche, comme s'il y avait, entre la matière des couches et le verre, d'autre matière électrisée négativement.

en supposant qu'aux parties dont il s'agit de la paroi externe du tube le corps communiquant au sol prend de l'électricité négative. Mais cela n'est pas vrai. *La lumière anodique est donc constituée de matière portant de l'électricité positive*. Or l'électricité que prend la bouteille de Leyde provient par influence. *Il existe donc dans le tube de la matière électrisée négativement, et elle ne peut pas être celle qui entre dans la lumière anodique*. Cette matière doit être gazeuse, placée près de la paroi du tube, et il est naturel que l'électricité négative pénètre dans la paroi du tube.

» 4. Si, maintenant, on examine le système anticathodique, on voit qu'il se compose d'une tache centrale, peu lumineuse, et d'anneaux alternativement obscurs et brillants, et que la même chose s'observe sur l'écran phosphorescent de Rœngten, ce qui montre que le foyer principal des rayons X a la même forme, se composant, sur le verre, d'anneaux alternativement très actifs et moins actifs.

» Pour mieux examiner ce phénomène, nous avons cherché aussi ce qui se passe dans les tubes à vide de forme sphérique, où les électrodes sont des fils d'aluminium, de longueur double l'un de l'autre.

» *Quand le long fil sert comme cathode, nous n'avons pas sur la paroi du tube toute une zone phosphorescente, de hauteur égale à la longueur de l'électrode, mais des bandes parallèles au fil alternativement brillantes et obscures*.

» J'ai mesuré, pour l'un des tubes, plus de vingt bandes brillantes. La même chose a lieu avec le court fil comme cathode, avec la différence qu'il y a aussi des circonférences lumineuses dont le plan est perpendiculaire aux bandes. Ces bandes lumineuses ne s'observent que sur le verre, contrairement à ce qui arrive pour les stratifications dans les tubes Geissler.

» Ce phénomène montre que toute la surface de la cathode n'est pas centre de rayons cathodiques, ou du moins des plus énergiques, mais seulement des régions ou plutôt des lignes de celles-ci (ayant la forme des lignes nodales). Sur la cause ou l'origine de ce phénomène, je ne me prononce pas.

» 5. Enfin si l'intensité du courant augmente, le diamètre des anneaux lumineux diminue (mesurés : de 22 mm à 19 mm et de 39 mm à 35 mm). Ce phénomène peut être expliqué par la visibilité de nouvelles bandes avec l'augmentation de l'intensité (phénomènes de M. Birkeland), ou par l'augmentation de la vitesse des rayons cathodiques et, par conséquent, de l'attraction électrodynamique des rayons. »

Étude expérimentale du fer électrolytique ;

Par L. Houllevigue [1].

Le fer électrolytique diffère complètement du fer doux par ses propriétés physiques, qui le rapprochent plutôt de l'acier ; comme il contient toujours de l'hydrogène, M. Cailletet l'a considéré, par extension du terme acier, comme un acier à l'hydrogène. En électrolysant une solution aqueuse de protochlorure de fer contenant une forte quantité de chlorure d'ammonium avec une densité de 0,04 ampère par centimètre carré, M. Houllevigue a obtenu un fer électrolytique contenant 16,3 cm^3 d'hydrogène par gramme ; si l'on tient compte de la différence des poids atomiques de l'hydrogène et du carbone un semblable corps serait l'analogue d'un fer contenant 1,74 p. 100 de carbone ; ce serait plutôt une fonte qu'un acier.

La densité de ce corps, déterminée par la méthode du flacon en prenant le pétrole comme liquide (l'air attaquant le fer électrolytique), est 7,324.

Pour avoir la résistance électrique l'auteur détermine le poids, la densité et la résistance d'une spirale de maillechort, puis les mêmes quantités pour cette spirale recouverte d'abord de fer électrolytique, puis de cuivre ; de ces neuf données il déduit, par

(1) *Journal de physique*, 3e série, t. VI, p. 246-253, mai 1897.

un raisonnement pour lequel nous renvoyons le lecteur au mémoire original, la résistance spécifique du fer ; il a trouvé ainsi, 0,000958, nombre peu différent de la résistance spécifique sur la fonte dure, 0,000105.

L'intensité d'aimantation pour diverses valeurs du champ magnétique a été déterminée par la méthode des oscillations sur un barreau de cuivre recouvert de fer électrolytique sur une longueur de 9,65 cm ; le champ était produit par des bobines où circulait un courant d'intensité connue. La courbe d'aimantation obtenue a la même allure que les courbes de Rowland, et la comparaison de cette courbe avec celles que donnent l'acier doux et l'acier trempé montre qu'au point de vue tant de son aimantation totale que de son aimantation permanente, le fer électrolytique se place entre ces deux sortes d'acier.

M. Houllevigue a aussi étudié l'effet de l'aimantation transversale sur la résistance électrique. Il n'a pu observer de variation de cette dernière quantité, avec une aimantation temporaire transversale produite par un champ de 2 500 C. G. S. L'aimantation transversale permanente produit une diminution sensible de résistance.

Cette dernière propriété rapprocherait le fer électrolytique du fer doux. Néanmoins l'auteur conclut de l'ensemble de son travail que l'analogie entre le fer carburé et le fer hydrogéné est parfaitement justifiée par la comparaison des propriétés physiques des deux corps, de telle sorte que la qualité d'acier relève plutôt de la structure de la molécule que de la nature chimique du corps associé du fer. J. B.

De l'influence des rayons Rœntgen sur la conduction électrique à travers l'air, la paraffine et le verre ;

Par Lord Kelvin, Dr Beattie, Dr Smoluschowski [1].

Dans des mémoires précédents [2] les auteurs ont constaté que, quand les rayons Rœntgen tombent sur des métaux portés à des potentiels de 2 ou 3 volts, l'air ambiant devient conducteur, mais que la paraffine et le verre n'acquièrent aucune conductibilité sensible quand les différences de potentiel ne dépassent pas 2 ou 3 volts par centimètre dans l'air ou la paraffine ou par demi-millimètre dans l'air. Dans ces nouvelles expériences, qui portent sur des voltages plus élevés, on a employé un système de deux bouteilles de Leyde A et B (fig. 1) ; l'armature extérieure de A est reliée à l'enveloppe métallique de tout l'appareil, celle de B à l'électromètre. Rien n'est changé à B pendant toute la durée de l'expérience.

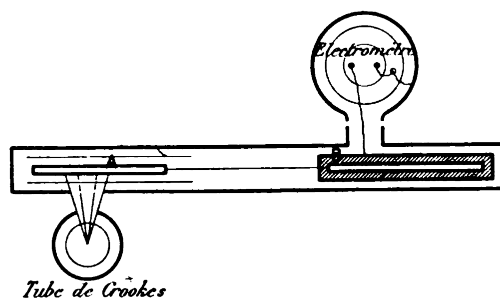


Fig. 1.

B est constitué par un tube de plomb de 25 cm de long et de 4 cm de diamètre. Une barre de métal, de 1 cm environ de diamètre et de 25 cm de long, est supportée suivant l'axe dans de la paraffine qui remplit tout l'espace intermédiaire ; cette tige est reliée à l'armature interne de A par un fil qu'on protège contre les effets d'induction en l'entourant d'un tube de plomb relié à l'enveloppe.

La bouteille A est différente suivant qu'on opère sur l'air, la paraffine ou le verre.

Pour obtenir une différence de potentiel définie, on met d'abord en communication métallique les deux paires de quadrants de l'électromètre, puis on relie l'un des pôles d'une machine électrostatique aux armatures internes des bouteilles et l'autre à l'enveloppe de l'appareil, on mesure la différence de potentiel à l'aide d'un électromètre multicellulaire jusqu'à 500 volts et, au-dessus, par un

---

(1) *Royal Society of Edimburgh*, 1er mars 1897.

(2) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 207 et 282 ; t. XI, p. 80, 30 janvier, 6 février, 3 avril 1897.

voltmètre vertical, à une seule paire de quadrants. On détermine d'abord la déperdition spontanée, puis on fait agir les rayons Rœntgen.

Dans les expériences sur l'air, A est un cylindre d'aluminium de 16 cm de long sur 3 cm de diamètre, à l'intérieur duquel est une mince lame d'aluminium, de 10 cm sur 1,5 cm, supportée par une cale de paraffine soustraite à l'action des rayons, qui pénètrent dans l'appareil par un trou de 0,3 cm^2.

Diverses expériences ont été faites, jusqu'à des potentiels de 2 200 volts. La vitesse de déperdition n'a pas varié sensiblement dans une chute de potentiel de — 97,5 volts à — 4 volts. Avec des différences de potentiel de — 930, — 1 750 et — 2 000 volts, la vitesse de déperdition ne dépassait pas d'une façon appréciable ± 20 volts. Les résultats sont conformes au fait annoncé par MM. J.-J. Thomson et Mc. Clelland que la conduction de l'électricité dans l'air sous l'influence des rayons Rœntgen est presque indépendante de la tension électrique, lorsqu'elle dépasse quelques volts par centimètre.

Dans les expériences sur la paraffine l'armature extérieure de A était un cylindre de 27 cm de longueur environ et de 4 cm de diamètre à l'intérieur duquel se trouvait, plongée dans la paraffine, une barre de métal de 1,75 cm de diamètre environ et de 30 cm de long. Les expériences ont porté sur des potentiels de ± 949, ± 119, ± 238, — 2 000, + 2 500 et — 2 400 volts; aucune conductibilité appréciable de la paraffine n'a pu être observée.

Enfin on a placé en A un tube de verre argenté intérieurement, cette argenture étant reliée métalliquement à l'armature interne de B, A des potentiels + 800, + 1 500, + 2 000 volts, on n'a observé aucune conductibilité.

Les auteurs pensent que les effets que MM. J.-J. Thomson [1] et Mc Clelland ont attribués à la conductibilité de la paraffine ou du verre doivent être expliqués par la présence de couches d'électricité induites à la surface de ces corps au contact de l'air rendu temporairement conducteur par les rayons Rœntgen. C. R.

[1] Cf. *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 421 et 454, 29 février et 6 mars 1896.

BIBLIOGRAPHIE

Les Ascenseurs, par G. DUMONT et G. BAIGNIÈRES, ingénieurs des Arts et Manufactures. — Un volume in-8° de 112 pages, avec 70 figures dans le texte. — Paris 1897. *Vve Ch. Dunod et P. Vicq*, Éditeurs, Prix : 5 fr.

M. G. Dumont a entrepris une série d'études des plus intéressantes dont il poursuit la publication avec une grande activité. Le nouvel ouvrage qu'il vient d'écrire, en collaboration avec M. G. Baignières, rendra de réels services à nombre de personnes. L'usage des ascenseurs se répand, en effet, tous les jours de plus en plus; il n'est pas de maison moderne où cet organe si utile ne soit employé. Architectes, ingénieurs, constructeurs, propriétaires sont donc intéressés à connaître les différents types d'ascenseurs proposés, les procédés employés pour réaliser leur fonctionnement régulier et économique, ainsi que les dispositifs employés pour assurer la sécurité des personnes transportées.

Les auteurs ont étudié successivement tous ces points avec la méthode et la clarté qui fait un des principaux mérites des ouvrages sortis de leur plume. Après avoir étudié les procédés d'équilibrage du poids mort de la cabine et du piston, qui permettent d'obtenir une exploitation aussi économique que possible, ils passent en revue les principaux dispositifs de sécurité employés, puis ils abordent la description de nombreux types d'ascenseurs qu'ils rangent dans les trois catégories suivantes :

1° Ascenseurs hydrauliques :

a) Avec puits;

b) Sans puits.

2° Ascenseurs hydrauliques avec emploi de moteurs à air comprimé, à gaz ou électriques.

3° Ascenseurs électriques.

La lecture de cet ouvrage n'est pas pour déplaire

aux électriciens, car ils y verront combien grands sont les avantages des systèmes électriques qui ont, du reste, fait largement leurs preuves en Amérique et en Allemagne. Ils commencent à s'introduire en France. Espérons que la lecture du livre que nous signalons, en stimulant le zèle des inventeurs et des constructeurs et en faisant comprendre aux architectes et aux propriétaires leur véritable intérêt, en développera encore davantage l'usage.

G. PELLISSIER.

CHRONIQUE

Influence du milieu environnant sur la conductibilité électrique du cuivre. — Il y a quelques années, M. Fernando Sanford avait conclu, de mesures faites avec beaucoup de soin, que la conductibilité d'un fil de cuivre dépendait de la nature du diélectrique qui l'entoure (voir *La Lumière Électrique*, t. XLVII, p. 138, 21 janvier 1893). M. Carhart a nié plus tard l'existence de ce phénomène. MM. GRIMALDI et PLATANIA ont, d'après l'analyse que M. Brunhes donne de leur travail dans le fascicule de mai du *Journal de Physique*, observé cette variation de la conductibilité du cuivre quand un fil de ce métal est successivement plongé dans l'eau et dans le pétrole. Dans leurs mesures, ils ont pris les précautions les plus minutieuses pour se mettre à l'abri de toute force électromotrice d'origine thermique; ils ont trouvé que la conductibilité du laiton dans le pétrole est 1,00015, sa conductibilité dans l'air étant prise pour unité; M. Sanford avait trouvé 1,0018 pour la conductibilité du cuivre dans le pétrole, soit une variation 12 fois plus grand.

Charges et décharges de condensateurs à diélectriques variés. — Dans les *Wiener Berichte* (10?, 7, part. 2 a, p. 667-694, 1896). M. T. WULF expose longuement l'étude qu'il a faite de la forme des charges et décharges de condensateurs à diélectriques variés ainsi que l'énergie perdue dans le milieu diélectrique quand ces charges et décharges sont périodiques.

Les expériences ont porté sur des condensateurs à lames diélectriques en paraffine, en papier paraffiné et en mica. Les durées de charge et de décharge étaient réglées par la chute d'un poids et étaient de l'ordre du dix millième de seconde. La résistance et la self-induction du circuit de décharge étaient mesurées avec soin. Dans le but de séparer les décharges instantanées et résiduelles, le circuit était rompu immédiatement après la décharge, précaution absolument nécessaire dans le cas où, suivant l'expression de l'auteur, le condensateur possède de hautes qualités d'absorption.

Les résultats obtenus, donnés sous forme de tableaux, montrent que la forme de la décharge en fonction du temps est sensiblement la même que celle de la charge. La résistance du circuit de décharge affecte seulement, entre certaines limites, les plus faibles décharges; ainsi quand un condensateur à papier paraffiné était chargé pendant 0,000066 seconde la déviation galvanométrique produite par la décharge était de 121 unités pour une résistance de 10 ohms et de 98 pour une résistance de 50 ohms, mais quand la durée de la charge était portée à 0,00032 seconde la déviation due à la décharge était la même que la résistance fût 10 ou 50 ohms.

D'après l'auteur, la relation entre la capacité d'un condensateur et le temps de charge ne peut être définie, la charge acquise par un condensateur pendant de très petits intervalles de temps n'étant pas une fonction du temps.

Dans la dernière partie du mémoire consacrée à l'étude d'un condensateur chargé et déchargé par un courant périodique, l'auteur attribue la perte d'énergie que l'on observe dans ces conditions à la neutralisation de la charge résiduelle correspondant à une phase par la charge de nom contraire produite par la phase suivante.

Action des champs magnétiques intenses sur les rayons cathodiques. — Dans les *Archives des sciences physiques et naturelles*, de Genève (4e période, t. I, p. 497, 1896). M. KR. BIRKELAND décrit diverses expériences dont les unes ont quelque analogie avec celles de M. Fleming, décrites dans cette revue (t. X, p. 179, 23 janvier 1897) et dont les autres se rapportent à la nature complexe des rayons cathodiques, déjà mise en évidence par l'auteur dans sa note sur un spectre de rayons cathodiques (*L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 274,

7 novembre 1896). Voici l'analyse que M. Dongier donnait de ce travail dans le numéro de mai du *Journal de Physique*:

Un tube de Crookes, de forme sphérique, au centre duquel est une croix qui sert de cathode, donne sur ses parois une phosphorescence verte, s'il n'est pas soumis à un champ magnétique. Si on fait agir un pôle magnétique intense fixe, situé sur la normale à la cathode, le flux lumineux prend une forme nettement limitée normale à la cathode et est séparé de celle-ci par un espace obscur; il devient en même temps bleu clair, avec tendance au violet; il coupe la paroi du tube de part et d'autre de la cathode, suivant deux croix de dimensions différentes. Celle de la grande dimension est située du côté de l'aimant; elle est d'un lilas presque blanc ou d'un jaune intense, suivant que la longueur de l'étincelle, qui caractérise le tube, est petite ou grande; on peut, d'ailleurs, obtenir à coup sûr la teinte jaune en faisant en même temps passer la décharge dans un autre tube de Crookes très résistant. La croix de petite dimension qui est jaune et confuse, se trouve de l'autre côté de l'aimant par rapport à la cathode. Les faisceaux qui donnent les deux croix, font entre eux un angle d'environ 10°, et en supposant qu'on regarde dans la direction du champ magnétique, leur déplacement a lieu dans le sens des aiguilles d'une montre; les deux croix se produisent d'ailleurs respectivement aux parties les plus éloignées et les plus rapprochées de l'aimant, lorsqu'on déplace le tube par rapport à l'aimant. Il y a lieu de rappeler le fait connu que les points, où se produit ainsi la croix lumineuse, donnent une croix obscure lorsque l'on emploie le tube pour obtenir la phosphorescence ordinaire due aux rayons cathodiques sans action magnétique.

On peut vérifier, si l'on *rend mobile* le pôle magnétique, que la cathode est susceptible d'émettre divers groupes de rayons d'espèces différentes. On constate, en rapprochant l'aimant, qu'à partir de 15 cm la tache de la paroi postérieure du tube devient graduellement plus petite et est réduite à un point qui disparait lorsque la distance est de 5 cm; les rayons cathodiques apparaissent alors sous la forme d'un cône lumineux de coloration bleue. Après cela, on découvre une deuxième tache plus petite et un peu plus faible que la précédente, comme si, depuis le commencement, elle était cachée par elle. Cette tache disparait à son tour lorsqu'on rapproche de nouveau l'aimant, après avoir été réduite à un point. Les mêmes apparences se reproduisent ainsi jusqu'à plus de cinq fois; dans un cas, en particulier, on a mesuré quatre taches successives de 9, 4, 1, 8 et 1 mm de diamètre. Le nombre de ces taches successives augmente avec la force magnétique et diminue avec la longueur de l'étincelle qui caractérise la décharge dans le tube. Pendant que les taches lumineuses diminuent, la croix s'agrandit et devient confuse en subissant des contorsions qui ont lieu dans le sens des aiguilles d'une montre, lorsqu'on regarde suivant les lignes de forces.

Enfin, l'auteur a vérifié qu'avec un aimant fonctionnant pendant un temps plus ou moins long, on peut augmenter la longueur de l'étincelle correspondante d'un tube de décharge, de manière à transformer n'importe quel tube de Crookes en un excellent tube de Rœntgen.

Chauffage des chaudières au charbon pulvérisé. — Continuant la série d'articles que nous signalions dans notre chronique du 15 mai, p. 581, M. P. Chevillard décrit dans les numéros du 8 et du 15 mai de la *Revue Industrielle* deux autres systèmes pour le chauffage des chaudières par le charbon en poudre.

Dans le *système Richard Schwartzkopff*, le charbon est placé dans une trémie fixée en avant du foyer; deux lames métalliques formant ressort ferment inférieurement cette trémie; une came animée d'un mouvement de rotation rapide vient, à chaque révolution, écarter l'une des lames; la poudre de charbon tombe par l'ouverture aussi produite sur une brosse circulaire en fils d'acier d'une longueur égale à la largeur du foyer et de la trémie et montée sur le même axe que la came; en revenant en place la lame flexible frappe contre l'autre et le choc fait descendre régulièrement le charbon de la trémie tandis que celui qui est sur la brosse se trouve lancé dans le foyer par le mouvement rapide de la brosse; le courant d'air aspiré par la combustion continue l'entrainement du charbon. On voit, que, contrairement à ce qui avait lieu dans les systèmes décrits dans les articles précédents, le tirage de la cheminée n'intervient pas pour faire l'alimentation du foyer; il en résulte une dépense supplémentaire de force motrice pour la mise en mouvement de la brosse; mais ce désavantage est compensé par une plus grande sécurité.

Des essais très minutieux ont été faites par M. Schneider, ingénieur de la Société berlinoise de surveillance des chaudières à vapeur sur une chaudière de 7 m de long, de 2 m de diamètre extérieur munie de ce système. La surface de chauffe totale était de 68,22 m² dont 13,26 m² soustraits à l'action directe de la flamme par un revêtement réfractaire; les foyers, au nombre de deux, étaient intérieurs et avaient 0,75 m de diamètre; des carneaux forçaient les gaz chauds s'échappant des foyers à longer deux fois la longueur de la chaudière. Avec un combustible dégageant 7 168 calories par kilogramme, le poids d'eau vaporisée par mètre carré de surface de chauffe totale et par heure a été de 17,5 kg, la pression de la vapeur produite étant de 7 atmosphères, et le poids d'eau à 0° vaporisée à 100° a été de 8,9 kg par kilogramme de charbon, ce qui indique un rendement calorique de 79 p. 100. L'absence de fumée a été complète.

Le *système Unger* est caractérisé par l'emploi d'une grille auxiliaire qui sert pour l'allumage et l'entretien du feu pendant les heures de repos de l'usine. Le poussier de charbon est contenu dans une trémie au-dessous de laquelle se trouve une roue de la largeur du foyer, munie de petits augets et de trois ou quatre taquets; ceux-ci ont pour but de secouer la trémie et de faciliter la descente du charbon que les augets entraînent et font tomber en nappe mince; le courant d'air produit par le tirage rencontre cette nappe et entraîne les particules les plus ténues tandis que les gros grains tombent sur la grille. Les quelques applications faites de ce système ont donné également satisfaction.

La station centrale à courants alternatifs de Croydon (Angleterre). — L'éclairage électrique de la ville de Croydon a déjà, on se le rappelle, fait l'objet de nos chroniques (Voir *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 90 et 377, 10 octobre et 21 novembre 1896). D'après les renseignements qui nous sont parvenus, nous pourrons aujourd'hui donner une description plus complète des installations électriques, installations qui ont préoccupé si vivement les ingénieurs anglais.

La station centrale de Croydon présente un intérêt tout particulier, car elle diffère totalement des autres tant par son mode d'exploitation que par son système de production d'énergie électrique. En effet, la municipalité de Croydon a fourni le capital nécessaire pour l'érection de la station centrale et du réseau de distribution, et, de son côté, la Compagnie électrique paie à la municipalité l'intérêt et l'amortissement du capital. En échange, cette compagnie exploite l'installation et perçoit les produits de la vente de l'énergie et et les revenus divers. Au bout de dix années, la station et le réseau feront retour à l'autorité locale; mais celle-ci pourra en tout temps devancer l'époque de son entrée en jouissance en prévenant la compagnie six mois à l'avance et en l'indemnisant suivant un tarif décroissant arrêté.

Le système de production et de distribution d'énergie électrique est également particulier. On a adopté le système par courants alternatifs à haute tension et postes de transformateurs pour l'éclairage par incandescence, et le système par courants alternatifs redressés à intensité constante pour l'éclairage par arcs. Le soir, l'énergie électrique est fournie directement par les alternateurs commandés par des machines à vapeur, et le jour par un petit alternateur commandé par un courant continu actionné par une batterie d'accumulateurs chargée, le soir, par le même groupe agissant en sens inverse.

De cette manière, on évite de maintenir en pression et en service un groupe chaudière, machine à vapeur, alternateur et le personnel correspondant, ce qui est extrêmement onéreux vu la faible consommation d'énergie pendant le jour. Au contraire, un seul homme suffit pour surveiller le petit groupe dynamo-alternateur et vaquer aux différents services de l'usine. C'est la première fois qu'une combinaison de ce genre a été réalisée et elle se recommande par sa simplicité, son rendement relativement élevé et son faible coût d'exploitation. Il est donc certain que l'exemple donné par la Compagnie Thomson-Houston en Angleterre sera bientôt suivi par nombre d'installations dont la production diurne ne justifie pas la marche continue d'un groupe électrogène complet.

La station centrale est située hors de la ville et comporte deux bâtiments accolés : l'un est affecté aux chaudières, l'autre aux machines à vapeur et électriques. Les chaudières, au nombre de trois, peuvent évaporer 3 000 kg d'eau à l'heure chacune. Elles sont reliées à une double canalisation pour éviter tout arrêt par la rupture d'une conduite. Les gaz des foyers passent autour des tubes d'un économiseur avant de se rendre dans la cheminée (fig. 1).

Les machines à vapeur sont du type pilon renversé ; chacune est reliée par un plateau d'accouplement à un alternateur. Leur puissance utile est de 216 chevaux à la vitesse angulaire de 360 tours.

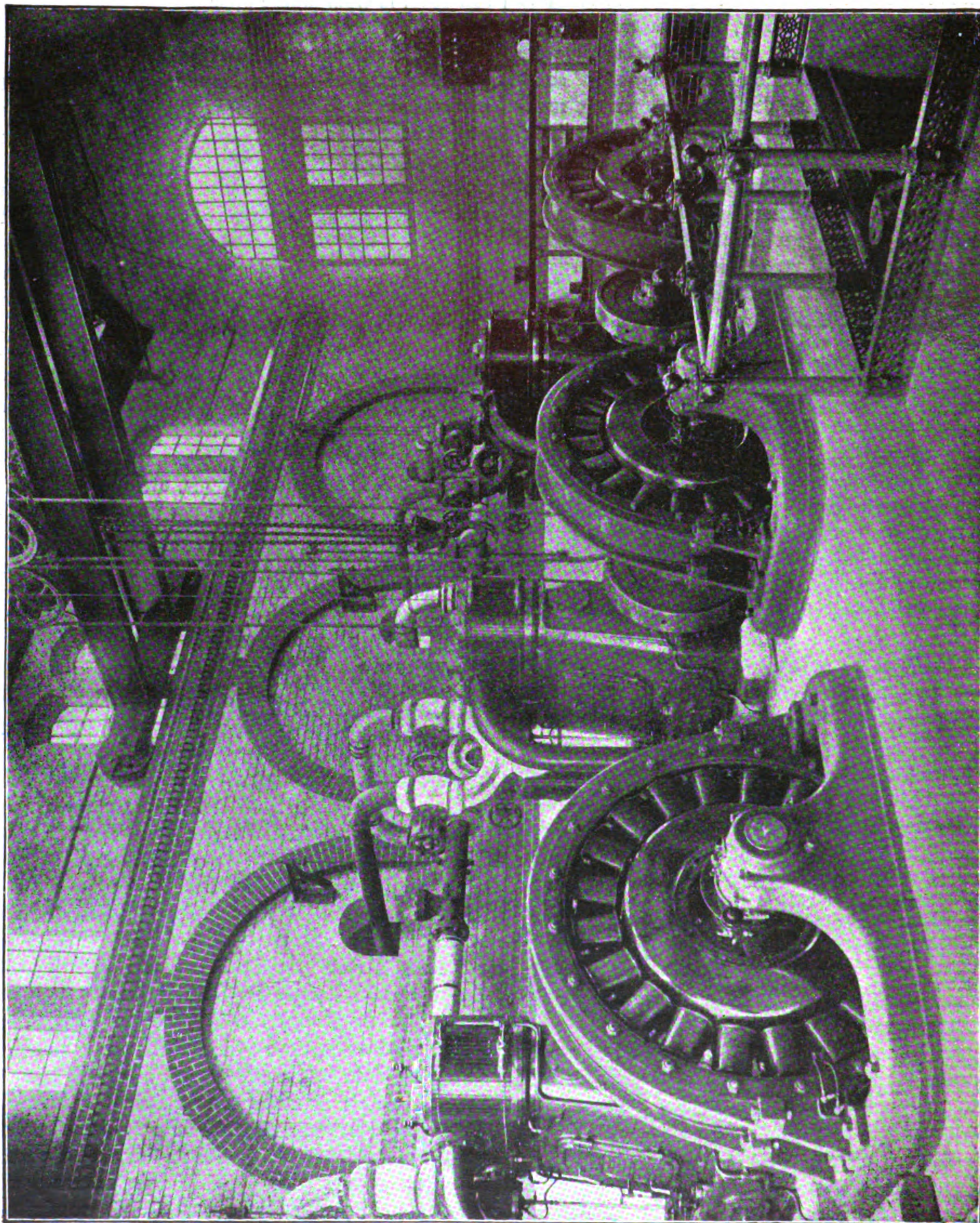


Fig. 1. — Station centrale de Croydon.

Un régulateur très sensible permet de supprimer brusquement la charge totale d'une machine sans que sa vitesse s'élève de plus de cinq tours par minute.

Les alternateurs sont du type Thomson-Houston modifié spécialement pour la circonstance. Les inducteurs consistent en 20 pièces polaires en tôles laminées, de sorte que la fréquence est de 60 périodes par seconde. Les bobines de champ peuvent être facilement démontées, nettoyées ou réparées. L'induit diffère un peu de la forme ordinaire des alternateurs de cette compagnie. Généralement, les côtés adjacents de deux bobines consécutives étaient placés dans une même rainure et maintenus par un coin en bois. Dans la nouvelle forme, les bobines sont complètement séparées les unes des autres, chacune a son logement spécial dans le noyau de fer; de cette manière, si une bobine vient à brûler, elle ne peut communiquer le feu à sa voisine. Les encoches sur l'induit sont telles que les bobines, enroulées préalablement sur une forme, peuvent être encastrées ou retirées indépendamment et avec la plus grande facilité.

Les anneaux collecteurs sont fixés sur l'arbre de part et d'autre de l'induit, mais tandis que l'un est isolé par un anneau et des rondelles d'ébonite, l'autre n'est nullement isolé et est en communication par le bâti avec la terre. Le collecteur isolé et le balai sont recouverts d'un châssis vitré qui empêche tout contact accidentel.

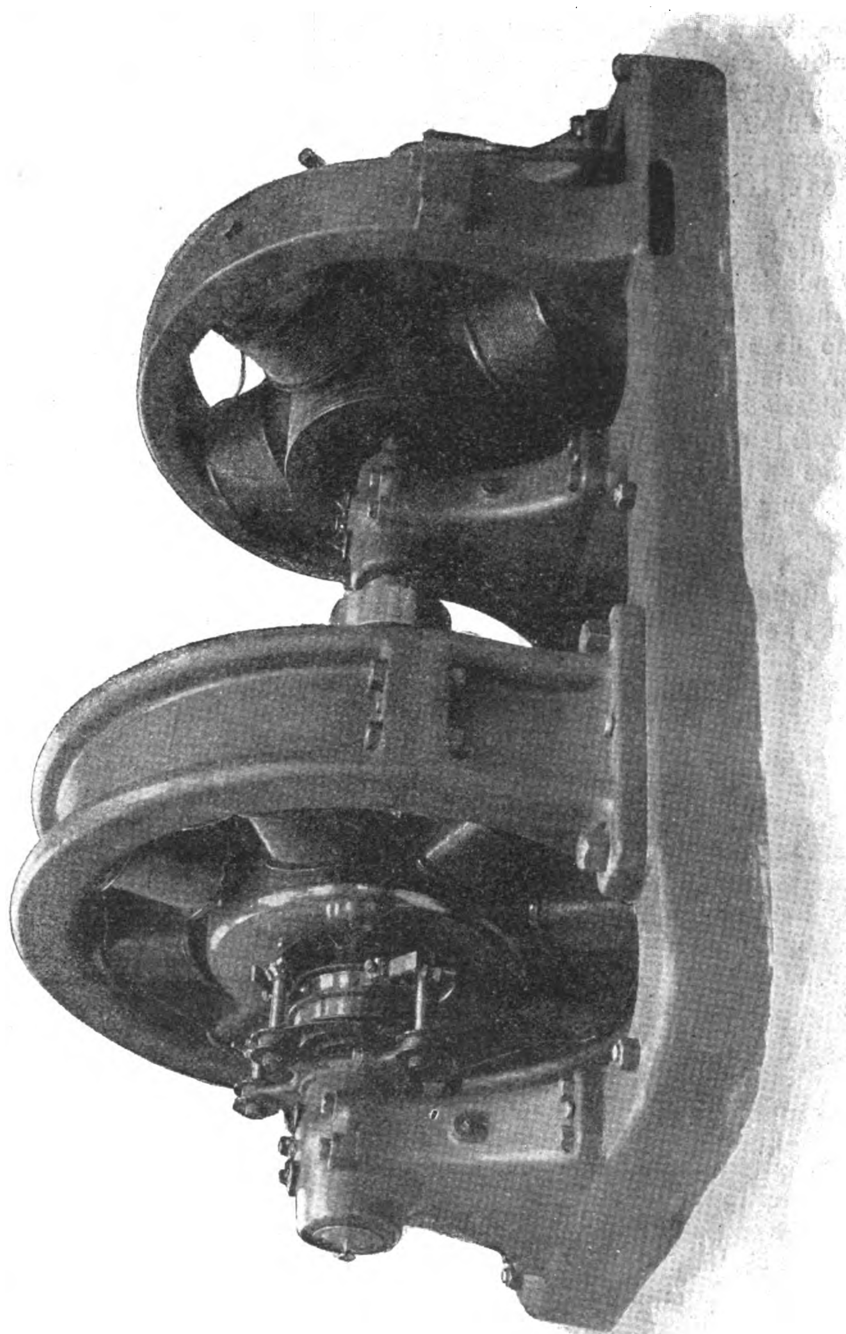


Fig. 2. — Dynamo-alternateur de 30 kilowatts pour la charge des accumulateurs et l'éclairage à courants alternatifs le jour.

Les alternateurs sont au nombre de trois et ont chacun une puissance de 120 kilowatts sous 2 000 volts.

Pour la marche de jour, comme nous l'avons dit plus haut, on se sert d'un groupe moteur-alternateur (fig. 2), consistant en un moteur shunt à courant continu avec un alternateur de 30 kilowatts.

Le moteur est actionné par une batterie d'accumulateurs qui est chargée le soir, durant les heures de faible débit, par le même groupe, l'alternateur fonctionnant comme moteur sur les barres de distribution et la machine à courant continu comme générateur.

La batterie d'accumulateurs ne comporte pas d'éléments de réduction, le courant de charge ou de décharge étant réglé par l'excitation. Une dynamo de 3 volts, commandée par un petit moteur, sert au traitement des éléments « malades ».

Le tableau de distribution est fort simple, étant donné que le conducteur extérieur du câble concentrique est relié à la terre. De cette manière les interrupteurs et coupe-circuits sont unipolaires. Un compteur Thomson est branché sur chaque alternateur.

Actuellement les sous-stations sont au nombre de quatre ; elles sont reliées à la station centrale au moyen de feeders indépendants, mais elles communiquent entre elles au moyen de cinq câbles à haute tension ; néanmoins chaque sous-station dessert une portion déterminée du réseau. Aux points où aboutissent les sections, il y a des boites de jonctions, de manière qu'une section quelconque puisse être reliée à sa voisine en cas d'accident à l'une des sous-stations.

Trois des sous-stations sont établies dans des petites maisons en briques ; la quatrième est souterraine. Elle est protégée de l'humidité par des murs très épais en béton et est largement ventilée. Les feeders aboutissent directement sur les barres de distribution tandis que les conducteurs à haute tension des transformateurs sont mis en relation avec les barres par l'intermédiaire de coupe-circuits et d'interrupteurs. Les circuits secondaires aboutissent sur un autre tableau et sont protégés par de larges coupe-circuits.

Les coupe-circuits à haute tension sont composés de plusieurs fils de plomb recouverts d'un tube de caoutchouc lâche et réunis en parallèle. Au moment de la fusion, l'air vivement chassé éteint l'arc.

La distribution secondaire est faite à 200 volts par des câbles concentriques.

L'éclairage municipal est obtenu au moyen de 40 lampes à arc Thomson-Houston de 12 ampères, formant deux circuits ; l'un de 20 est éteint à minuit, l'autre de 23 lampes peut fonctionner 18 heures. Comme nous l'avons dit en commençant, ces lampes sont alimentées par des courants redressés.

La station centrale à courants triphasés de Strasbourg. — Parmi les stations génératrices de courants triphasés, celle de Strasbourg est sans contredit l'une des plus importantes et des plus intéressantes de celles qui emploient la vapeur comme force motrice. Cette station a fait l'objet d'un article très documenté de M. Piou de Saint-Gilles (*Génie Civil*, t. XXXI, 1er mai 1897), auquel nous empruntons les détails qui suivent :

Le projet élaboré par M. Oscar von Müller, de Munich, comportait d'abord une distribution par courants alternatifs simples ; mais on s'arrêta ensuite à l'emploi des courants triphasés permettant l'emploi des moteurs à champ tournant. Le réseau complet est installé en prévision d'une consommation totale de 2 250 kilowatts distribués sous une tension primaire de 2 750 volts, réductible par transformateurs triphasés, à 120 volts.

La station centrale, couvrant une superficie de 5 000 m², s'élève dans le quartier du nouveau port, à l'intérieur des fortifications. L'emplacement a surtout été choisi en vue d'un approvisionnement commode des combustibles qui arrivent directement aux soutes par voie fluviale et embranchement spécial.

La salle des machines, contient deux moteurs à vapeur de 150 à 200 chevaux et trois de 300 à 400 chevaux, directement accouplés aux alternateurs et dynamos. Un pont roulant de 10 tonnes dessert dans toute sa longueur la salle qui possède, au fond, une plate-forme à 3,50 m au-dessus du sol donnant accès au tableau de distribution.

La salle de chauffe, latérale aux machines, contient six générateurs Steinmüller de 227 m² de surface de chauffe. Chaque unité, qui est complètement indépendante de sa voisine, de façon à permettre partout l'accès facile en cas de réparations, produit, à la pression de 10 kgr, 5 400 kgr de vapeur sèche par heure. Il n'y a qu'une seule prise de vapeur par unité, mais chaque chaudière est munie de deux soupapes distinctes d'alimentation. Un carneau collecteur de 3,70 m² de section amène les gaz de la combustion dans deux cheminées. Au-dessous de la chaufferie se trouve un

couloir communiquant avec la chambre à cendres de chaque chaudière et desservi par un monte-charge pour l'enlèvement des résidus.

Les eaux pour l'alimentation et la condensation sont prises dans l'Ill. A leur entrée dans l'usine, elles passent dans un puisard de dépôt puis dans un collecteur; là, elles sont aspirées par la pompe à air de chaque machine. Au sortir du condenseur, les eaux chaudes vont dans un puits communiquant avec la rivière; une partie y est rejetée: l'autre, après avoir passé dans un filtre à coke pour se débarrasser de l'huile entraînée, retourne dans l'épurateur annexé aux pompes alimentaires. Comme les eaux de l'Ill sont trop dures pour une alimentation directe, on a installé un appareil Desrumeaux débitant 8 m³ d'eau à l'heure. L'alimentation est assurée par des pompes duplex à quadruple effet. Des robinets de changement de direction permettent d'envoyer l'eau tantôt du filtre à coke dans l'épurateur, tantôt du réservoir de l'épurateur dans les chaudières. Enfin, comme réserve, l'installation comprend un autre appareil d'alimentation (re-starter) livrant 300 litres d'eau par minute.

La vapeur est amenée aux moteurs par une conduite principale disposée en anneau, permettant, à l'aide de soupapes et de robinets, la mise hors circuit rapide de toute région intéressée par un accident.

La force motrice est engendrée par des machines verticales compound avec régulateurs au volant, sortant des ateliers de la Société alsacienne de constructions mécaniques. Les moteurs de 300 à 400 chevaux ont 600 mm de course avec des diamètres de cylindres de 440 et 720 mm, et tournent à 150 tours par minute; ceux de 150 à 200 chevaux ont une course de 420 mm, avec des diamètres de cylindres de 340 et 560 mm, et tournent à 180 tours par minute. Avec une variation de 100 p. 100 dans la charge, la variation de vitesse ne dépasse pas 5 p. 100.

Les moteurs de 300 à 400 chevaux actionnent chacun un alternateur et son excitatrice; ceux de 150 à 200 chevaux commandent, d'un côté, un alternateur, et de l'autre une dynamo destinée à la traction. L'excitation de ces alternateurs est assurée au moyen de deux excitatrices couplées chacune à un moteur triphasé. Un autre groupe d'une dynamo excitatrice et d'un moteur à courant continu branché sur le circuit à 500 volts du courant servant aux tramways, sert de réserve.

Les alternateurs, construits par la Compagnie générale berlinoise d'électricité, sont établis avec enroulements en étoile. La fréquence adoptée est de 50. L'énergie nécessaire pour l'excitation varie, suivant les puissances, de 1 à 4 p. 100 de l'énergie développée par l'alternateur. Tout en cherchant à répartir, autant que possible, la consommation sur les trois phases, il n'est pas absolument nécessaire que cette répartition soit égale, car, même dans le cas d'une différence de 100 p. 100 dans la charge, les variations de tension aux bornes n'atteignent qu'un maximum de 7 p. 100.

Ces alternateurs se composent en principe, d'une carcasse en deux parties, fixe, portant la bobine unique d'induction et les enroulements de l'induit, entre lesquels tournent, avec un entrefer de 5 mm, les pièces polaires fixées au volant de la machine à vapeur.

Tous les noyaux et pièces polaires sont constitués par des feuilles de tôle mince, avec interposition de papier de soie parcheminé. L'enveloppe extérieure est déplaçable parallèlement à l'axe pour faciliter les réparations. Les grands alternateurs ont chacun 20 pièces polaires et tournent à raison de 150 tours par minute. Leur puissance est de 280 kilowatts sous 2 750 volts. Les pertes en watts dans les deux armatures sont d'environ 2 p. 100; celles par hystérésis, 1,3 p. 100. Le poids total du fer entrant dans la construction de ces alternateurs est de 8 750 kgr, celui du cuivre, est de 950 kgr, soit 2,325 kgr par cheval. Le rapport des ampères-tours d'une spire de l'armature à une de l'excitation est de 1/15.

Le tableau de distribution comprend un ensemble de barres collectrices communiquant avec une série d'interrupteurs par une résistance à liquide. De ces barres partent les différentes lignes d'alimentation du réseau et une canalisation spéciale alimentant le transformateur de l'usine; ce dernier sert particulièrement à l'alimentation des deux moteurs actionnant les excitatrices des alternateurs de 50 à 200 chevaux. Les alternateurs ont chacun leur wattmètre respectif au tableau. Les rhéostats d'excitation sont variables à la main et munis d'un système de signaux composés de lampes vertes et rouges, avec sonneries, installées à proximité du volant régulateur de chaque machine à vapeur, système analogue à celui qui fonctionne dans une des plus importantes stations de Budapest (voir *L'Éclairage Électrique*,

t. X, p. 103 ; 16 janvier 1897). Dès que la mise en parallèle, qui s'effectue par les procédés ordinaires, est faite, l'électricien et le mécanicien font un échange de signaux ayant pour but d'arriver à uniformiser la charge dans chacune des unités. Quand ces conditions se trouvent remplies, l'électricien enclenche toutes les poignées des rhéostats à une tige terminée par un volant à main qu'il manœuvre pour régler le fonctionnement d'ensemble des alternateurs d'après la tension du réseau secondaire.

Le réseau actuel de distribution, installé en prévision de 45 000 lampes ou leur équivalent, répond à une consommation de 29 000 lampes de 50 watts brûlant simultanément.

Le courant à haute tension, est amené aux circuits des transformateurs souterrains ramenant le potentiel à 120 volts, par 5 feeders d'une longueur totale d'environ 10 000 m. Chacun d'eux est constitué par un câble tordu dont la section cuivre varie de 3×25 à 3×95 mm². En outre, le circuit des transformateurs est formé par 15 000 m de câbles à haute tension comme les précédents, dont la section cuivre est de 3×10 à 3×25 mm². Les câbles du réseau secondaire sont branchés directement aux bornes des transformateurs afin d'éviter les boites et les raccords. Ce réseau est formé de câbles concentriques de 3×16 à 3×95 m² de section cuivre et a une longueur totale de 17 500 mètres. Ajoutons que le système entier de la distribution est souterrain et muni de fils pilotes permettant de s'assurer de la valeur du potentiel en différents points du réseau et de localiser rapidement les défauts qui viendraient à se produire.

L'auteur termine la partie descriptive de cette station par différentes considérations économiques. L'énergie est vendue au compteur, système Aaron. Pour l'éclairage ou moteurs destinés à l'éclairage, le prix de l'hectowatt-heure est de 6 pfennigs (0,075 fr); si le nombre d'unités consommées dépasse 30 000 par an, il s'abaisse à 4 pfennigs (0,05 fr). Pour la force motrice et applications diverses, les prix varient de 2 pfennigs (0,025 fr), pour un maximum annuel de 10 000 hectowatts-heure, à 1 pfennig (0,013 fr), pour 100 000 hectowatts-heure et au delà. Ces tarifs comportent pour la municipalité et l'État une réduction de 10 p. 100.

La traction électrique à New-Orleans (Amérique). — Quoique cette ville fut l'une des premières des États-Unis à adopter la traction électrique sur ses réseaux urbains, ce ne fut guère avant le mois d'octobre dernier que la dernière voiture à traction animale disparut de son réseau.

Le réseau de tramways de New-Orleans a maintenant environ 93 km de longueur totale. La dernière ligne installée, la seule dont nous nous occupions ici, celle de l'avenue de Claiborne, a fait l'objet d'une intéressante description dans le dernier numéro du *Street Railway Journal* (t. XIII, n° 5 ; mai 1897). Cette ligne existait déjà en partie, mais on a dû la reconstruire entièrement par suite de la nature défavorable du sol. Ce dernier est constitué par des couches d'argile alternant avec des couches de sable; le drainage naturel s'effectue très difficilement et est même pratiquement nul où l'argile prédomine; de plus, l'écoulement de l'eau n'étant facilité par aucune pente, les couches superficielles se détrempent par les pluies et restent ainsi pendant un temps considérable. L'établissement d'une ligne à trafic intense, comme l'est maintenant celle de l'avenue Claiborne en raison de son prolongement à travers toute la ville, nécessitait donc une étude sérieuse de la part des entrepreneurs. On a essayé sur des tronçons de faible longueur le béton, la pierre concassée ou gravier, le sable et le bois. De tous ces matériaux le bois est celui qui a donné les meilleurs résultats et a, en conséquence, été choisi pour la construction de la ligne. Le cyprès, en abondance dans les forêts environnantes, remplissait toutes les conditions voulues de solidité et de bon marché ; pour un prix très minime, la Compagnie s'est procurée des planches de cyprès impropres au travail ordinaire mais convenant parfaitement au but qui leur était destiné. Pour établir la voie, on a d'abord mis l'argile à nu en enlevant la couche, très mince d'ailleurs, de terre arable, et après en avoir convenablement aplani la surface on la recouvrit de planches de cyprès placées parallèlement aux rails, ayant 2,5 cm d'épaisseur, 30 cm de large et 3,6 m de largeur. Les traverses supportant les rails, reposent perpendiculairement sur ce plancher dont l'assise et la stabilité sont encore améliorées du fait que les joints des planches qui le composent sont contrariés. Dès que la voie fut posée, on essaya plusieurs sortes de ballast afin de reconnaitre celui qui conviendrait le mieux à ce genre de « sous-sol », la

pierre concassée, le gravier ainsi qu'un mélange de terre et de cendres furent éprouvés. Les deux premiers seulement ont été adoptés : le ballast est donc formé d'une première couche de pierre finement concassée et d'une seconde couche d'un gravier spécial dit « Rosetta gravel », lequel contient des dépôts de minerais de fer dont la décomposition contribue à former un sol absolument compact et résistant.

La distribution d'énergie est faite par voie aérienne; le fil à trôlet est supporté sur tout le parcours de cette longue ligne par 4 systèmes différents de pylônes, savoir : pylônes en acier et pylônes en bois avec consoles supportant le fil, pylônes en acier supportant le fil au moyen d'une traverse en fer qui les réunit deux par deux (passage des ponts) et enfin supports de tendeurs en bois et en acier. Chacun d'eux est implanté dans un trou assez profond et repose sur un lit de bois fomé de blocs de cyprès.

La ligne ne présente aucune autre particularité ; les voitures qui la desservent sont du type de la American Car C°, montées sur des trucks Baltimore et pourvues chacune d'un moteur G. E. 800.

La station centrale qui fournit l'énergie est située près des bords du Missisipi où elle se trouve dans les meilleures conditions pour sa propre alimentation en eau et combustible et pour l'alimentation du réseau. Son matériel générateur se compose de deux moteurs à vapeur Allis-Corliss de 450 chevaux chacun couplés à deux dynamos G. E. de 300 kilowatts l'une.

Extraction et affinage des métaux par l'électrolyse. — Un des ingénieurs les plus autorisés en matière d'électrolyse, M, Schnabel, vient de publier, dans le *Chemiker Zeitung*, un rapport très étendu sur les différents procédés électrolytiques employés, soit pour extraire les métaux de leurs minerais, notamment le zinc, l'or, l'argent et l'aluminium, soit pour le raffinage du cuivre et du nickel.

Suivant l'ordre adopté par l'auteur, nous donnerons un exposé succinct des particularités relatives aux traitements électrolytiques de chacun de ces métaux.

Zinc. — Le traitement électrolytique des minerais de zinc a pour but d'obtenir un métal exempt d'impuretés. Il n'a pu être employé avec succès directement même avec des minerais riches, mais il permet d'obtenir le zinc comme un sous-produit de l'électrolyse de la blende, de la galène argentifère et des pyrites. On traite actuellement les pyrites grillées par le procédé Hopfner et Kittler, dans lequel le zinc est converti en chlorure que l'on électrolyse. Les minerais de blende sont traités par les procédés Ashcroft, Hopfner, Siemens et Halke, et Pape. Les deux premiers font usage des solutions chlorurées, les deux autres utilisent les sulfates. Le procédé Ashcroft est celui d'entre eux qui a reçu la plus importante application ; il est en effet employé à Newcastle (N.-S.-W) pour le traitement des minerais de Broken-Hill (Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 303, 508, 591 ; 16 mai, 13 et 27 juin 1896). L'affinage électrolytique du zinc contenant du plomb est pratiqué à Ilsenburg, mais les procédés d'extraction directe du zinc des alliages de zinc-plomb-argent employés à Hoboken, près d'Anvers, semblent diminuer en faveur, la distillation du zinc de l'alliage suivie par la séparation de l'argent et du plomb s'étant montrée plus avantageuse.

Or. — Le procédé Siemens et Halske pour l'extraction de l'or par l'électrolyse des dissolutions cyanurées est employé par la Rand Central Ore Reduction Company, à Johannesburg (Transvaal) et permet de recueillir environ 70 p. 100 du métal précieux contenu dans le minerai.

La séparation électrolytique de l'or et de l'argent est employée avec succès à Pittsburg et à Saint-Louis, aux États-Unis ; à Pinos Altos, Mexique, et à Franfcort-sur-Main.

Argent. — Le procédé Rossler-Edelan, pour la désargentation des plombs argentifères par le zinc-aluminium suivie de l'électrolyse de l'alliage résultant, a été presque complètement abandonné à Lautental et n'est que très peu employé à Hoboken. Aux États-Unis, on distille maintenant les écumes de zinc du procédé Parkes dans des récipients chauffés au pétrole. On traite généralement les boues argentifères et aurifères, provenant des anodes, de façon à obtenir un alliage de ces métaux avec le plomb. Dans les cas où ce procédé ne peut être suivi, on traite les boues par la voie humide, soit : 1° en les mélangeant avec une solution de sulfate d'argent, qui dissout le cuivre et précipite un poids équivalent d'argent ; 2° en les

faisant macérer dans de l'acide sulfurique dilué en présence de l'air pour oxyder et dissoudre le cuivre ; 3° en les faisant bouillir avec de l'acide sulfurique concentré qui dissout à la fois l'argent et le cuivre, en laissant l'or intact ; enfin, 4° en les fondant et en formant des anodes pour être directement traitées par l'électrolyse.

Nickel. — Dans leur procédé, MM. Basse et Selves (*Chemiker Zeitung*, 1892, t. XVI, p. 1725) mélangent les sels de nickel avec des composés organiques (acide citrique ou tartrique, glycérine ou dextrose), pour maintenir les oxydes en suspension, puis ajoutent au mélange un excès d'alcali caustique avant de le soumettre à l'électrolyse dans un bain traversé par un courant de 0,3 volts et 1 ampère par décimètre carré d'anodes. Après l'électrolyse, le fer, le cobalt et le zinc sont déposés à la cathode tandis que le nickel reste dissous ou est en partie précipité sous forme d'hydroxyde en quantité dépendant de la concentration du bain. On ajoute ensuite à la liqueur du carbonate d'ammonium en quantité suffisante pour neutraliser l'alcali, puis on soumet de nouveau le bain à l'électrolyse afin de recueillir le nickel qui vient se déposer à la cathode.

Cuivre. — Le raffinage électrolytique du cuivre est maintenant de beaucoup facilité par l'emploi de l'air comprimé dans les nouvelles méthodes de MM. C. et H. Borchers et Siemens et Halske. L'air est injecté sous pression par la partie inférieure des cuves et provoque une circulation continue de l'électrolyte. Outre les différentes actions chimiques auxquelles il donne lieu, l'air comprimé permet d'augmenter en toute sécurité l'intensité du courant de 30 à 50 et même 100 ampères par mètre carré.

Il est aussi employé avantageusement pour la régénération de la liqueur ; ainsi, quand le bismuth et l'antimoine provenant des anodes se trouvent en trop grande quantité dans l'électrolyte, on transvase ce dernier pour le traiter avec des sels basiques ou des oxydes de cuivre pendant qu'on le fait traverser par un fort courant d'air. Après filtration, l'électrolyte est acidulé au degré convenable pour être de nouveau utilisé.

Parmi les autres procédés de raffinage électrolytique du cuivre, celui de Hayden n'a pas été appliqué aux États-Unis ; celui de Smith et Randolph n'a reçu qu'un nombre d'applications très limité. Aucun de ces trois procédés n'a été employé en Europe.

Aluminium. — M. Bucherer, de Cleveland (*Chem. Zeit.*, t. XVI, p. 1764 ; 1892) et l'Aluminium Industrie Gesellschaft, de Neuhausen (*Chem. Zeit.*, t. XVII, p. 1006; 1893), électrolysent le sulfure d'aluminium séparément, comme par les anciens procédés, ou dans un bain alcalin, de chlorure ou de fluorure alcalino-terreux. L'électrolyte est chauffé soit par le courant, soit par une source de chaleur extérieure. Dans ce dernier cas, une tension de 2,5 à 3 volts suffit pour l'électrolyse, tandis qu'il faut 5 volts quand le courant doit chauffer le bain. Le principal obstacle qui s'oppose au développement des applications de ce procédé est, paraît-il, le prix très élevé du sulfure d'aluminium.

L'oxoline, nouvelle matière isolante. — D'après *Industries and Iron*, une compagnie anglaise « The Oxolin Syndicate » serait sur le point de lancer sur le marché ce nouveau produit qui présenterait toutes les propriétés principales du caoutchouc, aux points de vue de l'imperméabilité, de l'élasticité, de la résistance électrique ; il ne pourrait pas, cependant, subir des élongations comparables à celles du caoutchouc. Il serait pratiquement inaltérable à l'air, dans l'eau douce ou salée ; les huiles, la gelée et la chaleur jusqu'à 120° C. seraient sans action sur lui ; vulcanisé, sa température pourrait être élevée jusqu'à 200° ou 210° C. ; il peut être rendu ininflammable et innattaquable par les acides.

Si ces qualités sont vérifiées dans la pratique, ce produit pourra recevoir de nombreuses applications dans l'industrie, notamment dans l'industrie électrique. Le gouvernement anglais l'aurait déjà adopté, paraît-il, après expériences. Les usines à peu près terminées coûtent plus de 2 000 000 fr ; elles permettraient de vendre l'oxoline en très grandes quantités et à très bas prix.

Le Gérant : C. NAUD.

EVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XI. Samedi 5 Juin 1897. 4e Année. — N° 24.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

LA THÉORIE DE LORENTZ ET LES EXPÉRIENCES DE ZEEMAN

Pour bien faire comprendre l'explication donnée par Zeeman de ses curieuses expériences [1], je dois d'abord rappeler en quelques mots les principes fondamentaux de la théorie de Lorentz.

Voici quelles sont les hypothèses faites par Lorentz : les charges électriques sont portées par des molécules matérielles dont elles sont inséparables ; la charge de chacune de ces molécules est constante et la distribution en est invariable. Tous les changements qui surviennent dans un champ électrique sont dus aux déplacements de ces molécules qui transportent avec elles leurs charges.

Un conducteur électrisé positivement, c'est un conducteur à l'intérieur duquel se trouvent plus de molécules chargées positivement que de molécules chargées négativement.

Les courants électriques sont dus au mouvement des particules chargées qui se déplacent à travers la masse du conducteur; c'est un véritable courant de matière électrisée ; et un corps est d'autant meilleur conducteur qu'il oppose moins de résistance au mouvement de ces particules.

En d'autres termes, les courants qui traversent un conducteur métallique se propageront par le même mécanisme que ceux qui traversent un électrolyte ; les molécules ou particules à charge invariable se comporteront tout-à-fait de la même manière que les ions, et nous leur donnerons désormais le nom d'ions.

Qu'est-ce maintenant qu'un diélectrique ? La masse des diélectriques est parsemée d'ions comme celle des conducteurs. Mais chacun de ces ions, au lieu de pouvoir se déplacer librement à l'intérieur du diélectrique, ne peut s'écarter que très peu de sa position d'équilibre. Dès qu'il s'en éloigne, une force antagoniste due à l'action des ions voisins tend à l'y ramener ; cette force est proportionnelle à l'écart, si cet écart est petit.

Quand le diélectrique est placé dans un champ électrique, la force électrique extérieure tend à éloigner l'ion de sa position d'équilibre et il s'en écarte légèrement jusqu'à ce que cette force extérieure soit contrebalancée par l'attraction des ions voisins qui tend à ramener l'ion dans sa position d'équilibre primitive.

En d'autres termes le diélectrique se polarise.

[1] Voir dans la *Revue des Sociétés Savantes* de ce numéro, la traduction du Mémoire de ZEEMAN et les notes de EGOROFF et GEORGIEWSKI.

Une analyse qui ne diffère pas essentiellement de celle à laquelle conduit l'hypothèse de Poisson et de Mossotti montre que la « polarisation du diélectrique » est proportionnelle à l'intensité du champ extérieur. On retombe donc sur les formules bien connues de la théorie des diélectriques.

On remarquera qu'il n'y a plus, dans ce système, de courants de conduction ; il n'y a plus que deux sortes de courants, les courants de convection et les courants de déplacement. Les courants de conduction ordinaires, sont de simples courants de convection. Dans le vide, les courants de déplacement de la nouvelle théorie sont identiques à ceux de Maxwell ; mais il n'en est plus de même dans les diélectriques autres que le vide : le courant de déplacement de Maxwell se trouve décomposé en deux composantes : la première composante est un courant de déplacement, elle est égale à ce que serait le courant de Maxwell si le pouvoir diélectrique était égal à un ; la seconde composante est un courant de convection dû aux déplacements très petits des ions dans l'intérieur du diélectrique.

On supposera généralement que dans les courants qui traversent les conducteurs métalliques, on a un double courant, l'un d'ions positifs se déplaçant dans un sens, l'autre d'ions négatifs se déplaçant en sens contraire.

Comment M. Lorentz a-t-il réduit ces hypothèses en équations ? Pour les équations du champ électromagnétique, il a adopté tout simplement les équations de Maxwell ; en dehors des particules chargées, ses équations sont identiques à celles de Maxwell *dans le vide;* à l'intérieur des particules chargées, ce sont les mêmes équations avec le terme complémentaire qui représente le courant de convection dû au mouvement des ions.

Soient α, β, γ, les composantes de la force magnétique, f, g, h celles du déplacement électrique, $d\tau$ un élément de volume d'un ion, ξ, η, ζ les composantes de sa vitesse, $\rho\, d\tau$ la charge électrique de l'élément $d\tau$; enfin V la vitesse de la lumière.

Les équations s'écriront :

$$\frac{d\gamma}{dy} - \frac{d\beta}{dz} = 4\pi\left(\rho\xi + \frac{df}{dt}\right), \qquad (1)$$

$$4\pi V^2\left(\frac{dg}{dz} - \frac{dh}{dy}\right) = \frac{d\alpha}{dt}, \qquad (2)$$

avec les équations qu'on peut en déduire par permutation circulaire des axes.

En dehors des ions, ρ est nul : on n'a plus dans le second membre de (1) que le courant de déplacement $\frac{df}{dt}$, et on retombe sur les équations de Maxwell dans le vide ; à l'intérieur d'un ion, il faut dans le second membre de (1) ajouter au courant de déplacement le courant de convection $\rho\xi$.

Les particules étant des solides invariables et emportant leurs charges avec elles, on aura :

$$\frac{d\rho\xi}{dx} + \frac{d\rho\eta}{dy} + \frac{d\rho\zeta}{dz} + \frac{d\rho}{dt} = 0;$$

de sorte qu'on pourra déduire des équations (1)

$$\frac{df}{dx} + \frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz} = \rho.$$

Il faut, pour achever de mettre le problème en équations, chercher la force qui agit sur un ion.

Dans le champ électromagnétique, règnent deux forces :

1° Une force électrique dont les composantes sont :

$$4\pi V^2 f, \quad 4\pi V^2 g, \quad 4\pi V^2 h;$$

2° Une force magnétique dont les composantes sont :

$$\alpha, \quad \beta, \quad \gamma.$$

L'élément $d\tau$ de l'ion porte une charge électrique $\rho\, d\tau$; de plus cette charge est en mouvement, d'où résulte un courant de convection dont les composantes sont :

$$\rho\xi d\tau, \quad \rho\eta d\tau, \quad \rho\zeta d\tau.$$

La force électrique agit électrostatiquement sur cette charge, et en même temps la force

magnétique agit électrodynamiquement sur ce courant de convection; de sorte que la force mécanique totale qui agit sur l'élément $d\tau$ aura pour projection sur l'axe des x :

$$4\pi V^2 \rho f d\tau + \rho d\tau(\eta\gamma - \zeta\beta).$$

Des équations ainsi obtenues M. Lorentz déduit aisément les lois élémentaires de l'électrostatique et de l'électrodynamique, ainsi que celles de l'optique.

Une chose remarquable, c'est la facilité avec laquelle il rend compte des phénomènes qui se rattachent à l'aberration astronomique et à l'entraînement de l'éther par la matière en mouvement.

J'ai déjà eu l'occasion de traiter ce sujet dans un article antérieur à propos de la théorie de Larmor (1).

J'ai montré que de toutes les théories proposées jusqu'ici la théorie de Lorentz est celle qui rend le mieux compte des faits ; mais que son inconvénient, c'est qu'elle n'est pas d'accord avec le principe de l'égalité de l'action et de la réaction. Je n'ai pas à revenir ici sur tous ces points.

Je veux, en effet, me borner à ce qui concerne les expériences de Zeeman et pour cela je dois insister sur le mécanisme de l'émission de la lumière d'après les idées de Lorentz.

Une particule chargée en mouvement excite autour d'elle un champ électromagnétique, et ce champ que Lorentz commence par étudier se compose en réalité de deux parties : un champ électrostatique constant qui existe déjà quand la particule est au repos et qui est due aux actions électrostatiques de la particule; ce champ constant ne jouera d'ailleurs aucun rôle.

La seconde partie est le champ électromagnétique variable qui est produit par le mouvement de la particule. Ce champ variable, ce n'est pas Lorentz qui l'a étudié le premier; reportons-nous, en effet, au mémoire de Hertz intitulé « die Kräfte elektrischer Schwingungen behandelt nach der Maxwellschen Theorie (1) » Dans ce mémoire, Hertz calcule par un procédé très ingénieux le champ produit par son excitateur; mais, pour plus de simplicité, il fait le calcul comme si la longueur de cet excitateur était infiniment petite, comme si par conséquent le phénomène oscillatoire dont cet excitateur est le siège se réduisait au transport d'une certaine masse d'électricité d'une extrémité à l'autre de l'excitateur; c'est-à-dire (puisque ces extrémités sont supposées infiniment rapprochées) à des oscillations de très petite amplitude.

Hertz arrive ainsi à des formules très simples.

Eh bien, le problème traité par Lorentz est tout à fait le même. Si on considère un élément $d\tau$ d'un ion, et que cet élément exécute des oscillations infiniment petites, le champ qu'il produira sera tout à fait identique à celui que produit l'excitateur infiniment petit traité dans le mémoire de Hertz que je viens de citer.

Il suffit de comparer entre eux les champs dus aux différents éléments $d\tau$ dont se compose l'ion.

Quelle sera maintenant la force qui agira sur cet ion ?

Il sera d'abord soumis à la force électrique et à la force magnétique dues au champ qu'il excite par son propre mouvement.

Je dis d'abord que je peux négliger l'effet de la force magnétique ; car cette force est proportionnelle à l'amplitude des oscillations de l'ion, laquelle amplitude est très petite ; d'autre part le courant de convection est également proportionnel à cette amplitude. L'effet mécanique de la force magnétique est proportionnel lui-même au produit de cette force par le courant de convection sur lequel elle agit, c'est-à-dire proportionnelle au carré de l'amplitude. Elle est donc négligeable. Reste la force électrique.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 5 et 385, 1896.

(1) *Wiedemann's Annalen*, t. XXXVI, p. 1-22, décembre 1888. — *Œuvres complètes de Hertz*, p. 147. — *La Lumière Électrique*, t. XXXI, p. 589, 23 mars 1889.

Je ne puis reproduire ici tous les détails du calcul de Lorentz; mais il est aisé d'en comprendre la marche générale. Soit un élément $d\tau$ de l'ion. Le mouvement de cet élément produira en un point x, y, z du champ une certaine force électrique. La force électrique totale due à la composition de ces forces électriques partielles aura ses composantes proportionnelles à f, g, h.

Des équations (1) et (2) nous déduisons :

$$V^2\Delta f - \frac{d^2 f}{dt^2} = V^2 \frac{d\rho}{dx} + \frac{d\rho\xi}{dt}.$$

L'interprétation de cette équation est bien connue.

Le déplacement électrique total f sera la somme des déplacements électriques partiels dus au mouvement des différents éléments $d\tau$ de l'ion.

L'un de ces déplacements partiels sera :

$$\frac{A d\tau}{r},$$

où r représente la distance du point x, y, z à l'élément $d\tau$ et où A est la valeur de :

$$-\frac{1}{4\pi}\left(V^2 \frac{d\rho}{dx} + \frac{d\rho\xi}{dt}\right),$$

non pas à l'instant t, mais à l'instant $t - t_0$, t_0 étant le temps que met la lumière pour aller de $d\tau$ au point x, y, z.

Le déplacement total sera donc

$$f = \int \frac{A d\tau}{r},$$

On voit que la force électrique au point x, y, z dépend non pas de l'état de l'élément $d\tau$ à l'instant t, mais de l'état de l'élément $d\tau$ à l'instant $t - t_0$. On rapprochera cette analyse de celle que j'ai donnée dans mon ouvrage, *Les Oscillations Électriques*, p. 71.

Mais, ce que nous cherchons, c'est l'effet mécanique de la force électrique sur la particule ; nous devons donc supposer le point x, y, z à l'intérieur de l'ion, de même que l'élément $d\tau$; comme la particule est très petite, la distance de ces deux points et par conséquent le temps t_0 sera très petit, de sorte que nous pourrons écrire :

$$A = -\frac{1}{4\pi}\left(V^2 \frac{d\rho}{dx} + \frac{d(\rho\xi)}{dt}\right) - \frac{t_0}{4\pi}\left(V^2 \frac{d^2\rho}{dt\,dx} + \frac{d^2(\rho\xi)}{dt^2}\right).$$

Soit ρ_0 la densité électrique au point x, y, z quand la particule est dans sa position d'équilibre, soit u, v, w les composantes du déplacement de l'ion de telle façon que :

$$\xi = \frac{du}{dt}.$$

Comme chaque élément $d\tau$ emporte sa charge avec lui, et que nous pouvons négliger les carrés de u, v, w et de leurs dérivées, nous aurons :

$$\rho = \rho_0 - u\frac{d\rho_0}{dx} - v\frac{d\rho_0}{dy} - w\frac{d\rho_0}{dz},$$

et comme ρ_0 est indépendant du temps :

$$\frac{d\rho}{dt} = -\xi\frac{d\rho_0}{dx} - \eta\frac{d\rho_0}{dy} - \zeta\frac{d\rho_0}{dz},$$

$$\frac{d^2\rho}{dt\,dx} = -\xi\frac{d^2\rho_0}{dx^2} - \eta\frac{d^2\rho_0}{dx\,dy} - \zeta\frac{d^2\rho_0}{dx\,dz},$$

et toujours en négligeant les carrés des ξ

$$\frac{d\rho\xi}{dt} = \rho_0\frac{d\xi}{dt}, \qquad \frac{d^2\rho\xi}{dt^2} = \rho_0\frac{d^2\xi}{dt^2}.$$

Si, mettant en évidence, le premier terme de A, nous posons :

$$A = A' + A''; \qquad A' = -\frac{V^2}{4\pi}\frac{d\rho}{dx},$$

nous voyons d'abord que A' représente la force électrique due à l'attraction électrostatique de la charge de l'élément $d\tau$.

Le terme correspondant dans la force électrique totale sera l'attraction électrostatique due à la particule entière.

Le terme correspondant dans l'effet mécanique subi par la particule représentera encore l'attraction électrostatique de la particule sur *elle-même* ; il est donc nul.

Quant à A″, nous voyons que c'est une fonction linéaire de :

$$\xi, \quad \eta, \quad \zeta, \quad \frac{d\xi}{dt}, \quad \frac{d^2\xi}{dt^2}.$$

Il en sera donc de même de la force totale mécanique qui agira sur l'ion. Par raison de symétrie cette force ne pourra dépendre de η et de ζ, de sorte qu'elle aura pour expression :

$$a\xi + b\frac{d\xi}{dt} + c\frac{d^2\xi}{dt^2},$$

a, b et c, étant des constantes.

La particule sera de plus soumise à une force qui tendra à la ramener à sa position d'équilibre. Cette force due à l'attraction des particules voisines aura pour composantes $-ku$, $-kv$, $-kw$.

Enfin nous aurons la force d'inertie qui sera:

$$-m\frac{d^2u}{dt^2}, \quad -m\frac{d^2v}{dt^2}, \quad -m\frac{d^2w}{dt^2},$$

si m est la masse de l'ion.

Nous aurons donc pour l'équation du mouvement de l'ion :

$$a\frac{du}{dt} + (b+m)\frac{d^2u}{dt^2} + c\frac{d^3u}{dt^3} + ku = 0,$$

dont l'intégrale est de la forme.

$$u = Ce^{-\mu t}\cos\lambda t.$$

C'est l'équation d'un mouvement pendulaire amorti.

L'amortissement dépend des termes de degré impair :

$$a\frac{du}{dt} + c\frac{d^3u}{dt^3},$$

Cet amortissement ne peut pas ne pas exister. En effet la particule en vibrant transmet de l'énergie à l'éther ; c'est justement pour cela qu'elle émet de la lumière. Elle perd donc de l'énergie et son mouvement s'amortit.

Mais cet amortissement est très lent et nous pouvons négliger ces deux termes.

Quelle est maintenant la signification du coefficient b.

La particule ne peut se déplacer sans entraîner l'éther dans son mouvement, de sorte que la force vive totale se compose de la force vive de la particule elle-même et de la force vive de l'éther avoisinant (sous la forme d'énergie électrodynamique). Tout se passe donc comme si la masse de la particule était augmentée et égale à $b+m$ au lieu de m.

Qu'arrive-t-il maintenant quand la particule se meut dans un champ magnétique intense ?

A toutes les forces que nous venons d'énumérer, il faut adjoindre l'action de ce champ.

Je supposerai que le champ est uniforme et parallèle à l'axe des z et j'appellerai ω l'intensité du champ.

La force mécanique due à ce champ est aisée à évaluer.

Soient ξ, η, ζ les composantes du vecteur V_1 qui représente la vitesse de l'ion et qui sera proportionnel à celui qui représente le courant de convection.

Nous aurons un second vecteur V_2 qui représentera la force magnétique et qui sera parallèle à l'axe des z.

Nous avons enfin un troisième vecteur V_3 qui représentera l'action mécanique du champ sur le courant.

D'après les lois bien connues de l'action des aimants sur les courants, ce vecteur V_3 est perpendiculaire au plan de V_1 et de V_2 et proportionnel au parallélogramme construit sur V_1 et V_2.

On reconnaît là la construction de la force centrifuge composée de Coriolis. Si le vecteur V_1 représente la vitesse relative d'un point mobile, si le vecteur V_2 représente la rotation instantanée dans le mouvement d'entraînement, le vecteur V_3, construit comme je viens de le dire, représentera la force de Coriolis.

Reprenons les équations du mouvement de la particule, en négligeant les coefficients a et c qui correspondent à l'amortissement, et en supposant d'abord le champ magnétique extérieur nul.

Nous avons :

$$(b+m)\frac{d^2u}{dt^2} + ku = 0,$$
$$(b+m)\frac{d^2v}{dt^2} + kv = 0,$$
$$(b+m)\frac{d^2w}{dt^2} + kw = 0.$$

Ce sont les équations du mouvement d'un point attiré par un centre fixe proportionnellement à la distance. Les vibrations sont, comme on le sait, elliptiques et isochrones.

S'il y a un champ magnétique extérieur, nous devrons ajouter à ces équations des termes dont l'expression sera la même que celle de la force de Coriolis.

Nous aurons donc les équations du mouvement relatif d'un point attiré par un centre fixe proportionnellement à la distance; mouvement relatif, dis-je, par rapport à des axes animés d'un mouvement de rotation uniforme autour de l'axe des z.

Nos équations deviendront :

$$(b+m)\frac{d^2u}{dt^2} - 2\varepsilon\frac{dv}{dt} + ku = 0,$$

$$(b+m)\frac{d^2v}{dt^2} + 2\varepsilon\frac{du}{dt} + kv = 0,$$

$$(b+m)\frac{d^2w}{dt^2} \qquad\qquad + kw = 0.$$

Le coefficient ε est proportionnel à l'intensité du champ magnétique.

Ces équations sont faciles à intégrer. Le mouvement de la particule peut être décomposé en trois autres :

1° Une vibration rectiligne parallèle à l'axe des z et dont la période est la même que si le champ n'existait pas ;

2° Une vibration circulaire droite dans un plan perpendiculaire à l'axe des z et dont la période sera plus grande que si le champ n'existait pas;

3° Une vibration circulaire gauche dans un plan perpendiculaire à l'axe des z et dont la période sera plus petite que si le champ n'existait pas.

Je désignerai ces trois vibrations élémentaires par Ω_1, Ω_2, Ω_3.

Quel sera maintenant sur l'éther extérieur l'effet de cette vibration de la particule. Pour nous en rendre compte, nous n'avons qu'à appliquer les formules de Hertz qui nous font connaître le champ électromagnétique produit par les petites oscillations d'une charge électrique. Ces formules sont exposées dans le mémoire que j'ai cité plus haut.

Pour ce que j'en veux faire, je puis me contenter de l'énoncé suivant : en un point très éloigné de l'excitateur, la perturbation se propage par ondes planes ; le plan de l'onde est perpendiculaire à la droite qui joint l'excitateur au point considéré ; la vibration électrique est, à un facteur constant près, la projection sur le plan de l'onde, de l'oscillation excitatrice.

Nous devrons donc projeter sur le plan de l'onde les trois vibrations Ω_1 Ω_2 Ω_3.

La projection de Ω_1 sera toujours rectiligne et sa direction sera parallèle à la projection de l'axe des z sur le plan de l'onde.

La projection de Ω_2 ou de Ω_3 sera généralement elliptique. Elle deviendra circulaire si le plan de l'onde est perpendiculaire à l'axe des z ; elle sera rectiligne et perpendiculaire à l'axe des z, si le plan de l'onde est parallèle à l'axe des z.

Maintenant, les vibrations Ω_1, Ω_2 et Ω_3 n'ayant pas les mêmes périodes seront séparées par le spectroscope ; la vibration Ω_1 occupera le centre de la raie ; les deux autres occuperont les deux bords.

Si le plan de l'onde est perpendiculaire à l'axe des z un des bords sera donc polarisé circulairement dans un sens et l'autre dans l'autre sens.

Si le plan de l'onde est parallèle à l'axe des z, les deux bords seront polarisés rectilignement, le plan de polarisation étant parallèle à l'axe des z ; et le centre de la raie sera polarisé rectilignement, le plan de polarisation étant perpendiculaire à l'axe des z.

Dans les positions intermédiaires, il y aura des traces de polarisation elliptique.

L'expérience faite par Zeeman a confirmé ses prévisions. Elle lui a permis, en même temps, de mesurer le rapport de la charge d'un ion à sa masse matérielle, ou plutôt de se faire une idée de la grandeur de ce rapport.

Il est aisé de comprendre comment ; l'observation nous donne le rapport des deux coefficients de notre équation, ε et $b+m$. Or ε est proportionnel d'une part au champ

magnétique, qui est connu, d'autre part à la charge e de l'ion. Nous pouvons donc trouver le rapport

$$\frac{e}{b+m}.$$

et en négligeant b le rapport $\frac{e}{m}$,

L'expérience a d'abord montré que ce rapport est positif; l'ion qui entre en vibration dans la flamme du sodium est donc chargé positivement.

Quant à la valeur de ce rapport, elle serait égale à 10^7, beaucoup plus grande, par conséquent, qu'on ne devait s'y attendre. Les phénomènes électrolytiques avaient en effet conduit pour ce rapport à une valeur beaucoup plus petite et égale à 400 environ.

Fitzgerald a expliqué cette divergence en supposant qu'une très faible partie de la matière prendrait part à la vibration; chaque molécule se composerait d'un très grand nombre d'atomes; un seul de ces atomes porterait toute la charge et participerait aux vibrations électriques. Si sa masse est m et si M est la masse totale de la molécule, les mesures électrolytiques nous donneraient $\frac{e}{M}$ et les expériences de Zeeman nous donneraient $\frac{e}{m}$.

J'ajouterai qu'il n'est pas sûr que l'on ait le droit de négliger b; c'est-à-dire de négliger devant l'inertie de la particule, celle de l'éther entraîné. Mais cela ne fait qu'accentuer la divergence.

Jusqu'ici, j'ai toujours raisonné comme si la particule chargée en mouvement était seule; il faut tenir compte du mouvement des particules voisines. M. Lorentz a fait le calcul; je ne puis songer à reproduire ici son analyse qui présente la plus grande analogie avec la théorie des diélectriques dans les hypothèses de Poisson et de Mossotti. Je me bornerai à dire que les résultats qui précèdent ne sont pas altérés dans leurs traits essentiels quand on tient compte de l'influence des particules voisines.

Je voudrais seulement insister un peu sur l'explication du phénomène de Faraday, polarisation rotatoire magnétique, dans les hypothèses de Lorentz.

Je reproduis d'abord l'équation (124) de Lorentz[1].

$$\left(a+b\frac{d^2}{dt^2}\right)\left(\Delta-\frac{1}{V^2}\frac{d^2}{dt^2}\right)X = -4\pi V\left(\frac{dJ}{dx}-\frac{1}{V^2}\frac{d^2X}{dt^2}\right),$$

$$J=\frac{dX}{dx}+\frac{dY}{dy}+\frac{dZ}{dz}.$$

Je désigne par X, Y, Z les trois composantes du « moment électrique » (que Lorentz appelle M_x, M_y, M_z). Voici ce que c'est que ce moment électrique; considérons un élément de volume contenant un grand nombre d'ions. Multiplions la charge de chacun de ces ions par la projection de son déplacement sur l'axe des x; ajoutons tous ces produits et divisons par le volume de l'élément, nous aurons X.

Les coefficients a et b sont des constantes et Δ représente l'opérateur bien connu.

L'équation a été écrite sans supposer l'action d'un champ magnétique extérieur. Si ce champ existe, il faudra introduire la force correspondante et nous venons de voir que cette force avait pour composantes:

$$+\varepsilon\frac{dY}{dt}, \quad -\varepsilon\frac{dX}{dt}, \quad 0.$$

Nos équations vont devenir:

$$DX-\varepsilon\frac{dY}{dt} = -4\pi V\left(\frac{dJ}{dx}-\frac{1}{V^2}\frac{d^2X}{dt^2}\right),$$

$$DY+\varepsilon\frac{dX}{dt} = \quad 4\pi V\left(\frac{dJ}{dy}-\frac{1}{V^2}\frac{d^2Y}{dt^2}\right),$$

$$DZ+\varepsilon \quad = \quad 4\pi V\left(\frac{dJ}{dz}-\frac{1}{V^2}\frac{d^2Z}{dt^2}\right).$$

Dans ces équations D représente l'opérateur:

$$\left(a+b\frac{d^2}{dt^2}\right)\left(\Delta-\frac{1}{V^2}\frac{d^2}{dt^2}\right).$$

(1) La théorie de Maxwell, *Archives néerlandaises*, t. XXV, p. 133 du tirage à part.

Bornons-nous au cas d'une onde plane dont le plan est perpendiculaire à l'axe des z. Alors Z est nul, J est nul, X et Y sont fonctions de z et de t seulement.

Il reste donc :

$$DX - \varepsilon \frac{dY}{dt} = \frac{4\pi}{V} \frac{d^2X}{dt^2},$$

$$DY + \varepsilon \frac{dX}{dt} = \frac{4\pi}{V} \frac{d^2Y}{dt^2}.$$

Nous supposerons que X et Y sont proportionnels à

$$\sin(mz - nt),$$

de sorte que la longueur d'onde soit $\frac{2\pi}{m}$ et la période d'oscillation $\frac{2\pi}{n}$.

Nos équations nous donnent alors dans le cas d'une vibration circulaire droite :

$$\left(m^2 - \frac{n^2}{V^2}\right)(a + bn^2) + \varepsilon n = \frac{4\pi}{V} n^2.$$

Dans le cas d'une vibration circulaire gauche, il faudrait changer le signe de ε.

Cette formule nous fait connaître en fonction de la période et de ε, la vitesse de la propagation $\frac{n}{m}$ dans le milieu envisagé. C'est donc une formule qui nous donne à la fois la dispersion ordinaire et la dispersion rotatoire magnétique.

Airy, peu de temps après la découverte de Faraday, avait proposé trois formules que nous pouvons rapprocher de celles de Lorentz.

Voici ces trois formules :

$$\left.\begin{aligned} \rho \frac{d^2X}{dt^2} - \varepsilon \frac{d^3Y}{dz^2 dt} &= \frac{d^2X}{dz^2}, \\ \rho \frac{d^2Y}{dt^2} + \varepsilon \frac{d^3X}{dz^2 dt} &= \frac{d^2Y}{dz^2}, \end{aligned}\right\} \quad (I)$$

$$\left.\begin{aligned} \rho \frac{d^2X}{dt^2} - \varepsilon \frac{d^3Y}{dt^3} &= \frac{d^2X}{dt^2}, \\ \rho \frac{d^2Y}{dt^2} + \varepsilon \frac{d^3X}{dt^3} &= \frac{d^2Y}{dt^2}, \end{aligned}\right\} \quad (II)$$

$$\left.\begin{aligned} \rho \frac{d^2X}{dt^2} - \varepsilon \frac{dY}{dt} &= \frac{d^2X}{dt^2}, \\ \rho \frac{d^2Y}{dt^2} + \varepsilon \frac{dX}{dt} &= \frac{d^2Y}{dt^2}, \end{aligned}\right\} \quad (III)$$

Ces équations conduisent aux formules de dispersion suivantes :

$$\rho n^2 - \varepsilon m^2 n = m^2, \quad (I)$$

$$\rho n^2 - \varepsilon n^3 = m^2, \quad (II)$$

$$\rho n^2 - \varepsilon n = m^2. \quad (III)$$

Les trois formules d'Airy ont été comparées aux observations ; on a trouvé que la formule (III) est inacceptable, que les formules (I) et (II) sont à peu près équivalentes, bien que la formule (I) soit préférable.

Comparons maintenant avec la formule de Lorentz. Si b était nul, on retomberait sur la formule (III). Ainsi pour n très petit, c'est-à-dire dans l'infra-rouge, la formule de Lorentz se confondrait avec la formule (III). Il serait curieux de faire des expériences pour voir si la formule (III), inacceptable dans le spectre visible, peut s'appliquer dans le spectre infrarouge.

Mais la formule de Lorentz peut encore se mettre sous une autre forme :

Posons

$$\frac{m}{n} = (\nu_0 + \varepsilon\nu_1)\frac{1}{V},$$

en développant $\frac{m}{n}$ suivant les puissances de ε.

Alors ν_0 représentera l'indice de réfraction et ν_1 mesurera la rotation magnétique.

En négligeant le carré de ε, on trouvera :

$$\frac{\nu_1 \nu_0}{\nu_0^2 - 1} = \frac{C}{n},$$

C étant une constante ; voilà où conduit la formule de Lorentz ; voilà où conduirait également la formule (III).

Les formules (I) et (II) conduiraient au contraire à une formule telle que

$$\frac{\nu_1 \nu_0}{\nu_0^2 - 1} = Cn,$$

où C serait sensiblement constant.

La formule de dispersion de Lorentz est donc loin d'être satisfaisante.

Il n'en est pas moins vrai que la théorie de Lorentz rend compte du fait même de la polarisation rotatoire magnétique, et il est pro-

bable qu'une modification de détail suffirait pour rendre compte également des lois de la dispersion.

Il suffirait qu'on pût modifier les hypothèses de telle façon que les composantes de la force Lorentz-Zeeman, au lieu d'être

$$-\varepsilon\frac{dY}{dt},\quad \varepsilon\frac{dX}{dt},\quad 0,$$

fussent

$$-\varepsilon\frac{d^3Y}{dt^3},\quad \varepsilon\frac{d^3X}{dt^3},\quad 0,$$

ou

$$-\varepsilon\frac{d^3Y}{d\zeta^2 dt},\quad \varepsilon\frac{d^3X}{d\zeta^2 dt},\quad 0.$$

Les circonstances de la dispersion rotatoire magnétique se trouveraient expliquées et les expériences de Zeeman s'expliqueraient tout aussi bien.

Il est intéressant de comparer cette explication de la rotation magnétique du plan de polarisation avec celle qu'a donnée M. Potier.

Dans la théorie de Lorentz comme dans celle de Potier, les molécules matérielles sont entraînées dans le mouvement de l'éther; mais dans la première les molécules sont électrisées, dans l'autre elles sont magnétiques, elles sont comparables à de petites aiguilles aimantées. Dans la théorie de Lorentz le champ magnétique extérieur agit sur les courants de convection; dans celle de Potier, il agit sur les petites aiguilles aimantées.

La théorie de M. Potier rend mieux compte des lois de la dispersion rotatoire; en revanche on ne voit pas très bien comment sous sa forme actuelle elle expliquerait l'expérience de Zeeman.

Quoi qu'il en soit, il semble qu'il y a un lien intime entre le phénomène de Zeeman, et celui de Faraday.

L'explication de l'un ne peut guère être cherchée indépendamment de celle de l'autre.

H. Poincaré,
Membre de l'Institut.

L'INAUGURATION DU TRAMWAY ÉLECTRIQUE DE BRUXELLES A TERWUEREN

On a accoutumé, en Europe — nous nous souvenons que la France la première en a donné l'exemple — après chaque grande exposition universelle et internationale, de conserver quelques traces positives des créations auxquelles donnent lieu les grandes assises industrielles, bâtiments, monuments, parcs ou embellissements du district qui en fut le siège. Les palais édifiés, les constructions respectées, attestent l'effort accompli, la grandeur des conceptions atteinte, le style particulier d'une époque. De la dernière exposition de Chicago, de la Foire du monde ainsi que la désignaient présomptueusement les Américains enthousiastes, nous croyons savoir qu'il ne reste rien. L'œuvre humaine de démolition eût été trop lente, le feu dévorateur, par accident, s'est mis de la partie et tout a marché à l'américaine.

A Paris, notre conservatisme s'est successivement accusé par le maintien du palais de l'Industrie érigé en 1854, en proie actuellement aux démolisseurs, pour céder la place à d'autres édifices, du palais et du parc du Trocadéro, de l'immense galerie des machines de 1889, des palais des Beaux-Arts et des Arts libéraux, de la tour de 300 m, et d'une foule d'aménagements et d'étendue de beaux jardins ombreux dont l'utilité est justement appréciée.

Cette année, c'est à Bruxelles que les exposants du monde entier sont convoqués. Les produits ne sont pas réunis dans une même enceinte. L'Exposition comporte deux emplacements : l'un situé sur le territoire de Bruxelles, l'autre dans le parc royal de Terwueren est uniquement affecté à l'exposition

coloniale congolaise. Ces deux sièges sont séparés par une distance d'environ 11 km.

Nul n'ignore que la grande pensée du règne de Léopold II fut de doter la Belgique d'une colonie lointaine. Dans la brûlante Afrique, un grand territoire est placé sous pavillon belge. La naissance et le développement du gouvernement congolais ont subi des crises et traversé des phases diverses; en ce moment il semble affirmé. Le roi qui a prêté son concours actif à cette formation, nourrissait le désir de montrer le profit que la mère-patrie

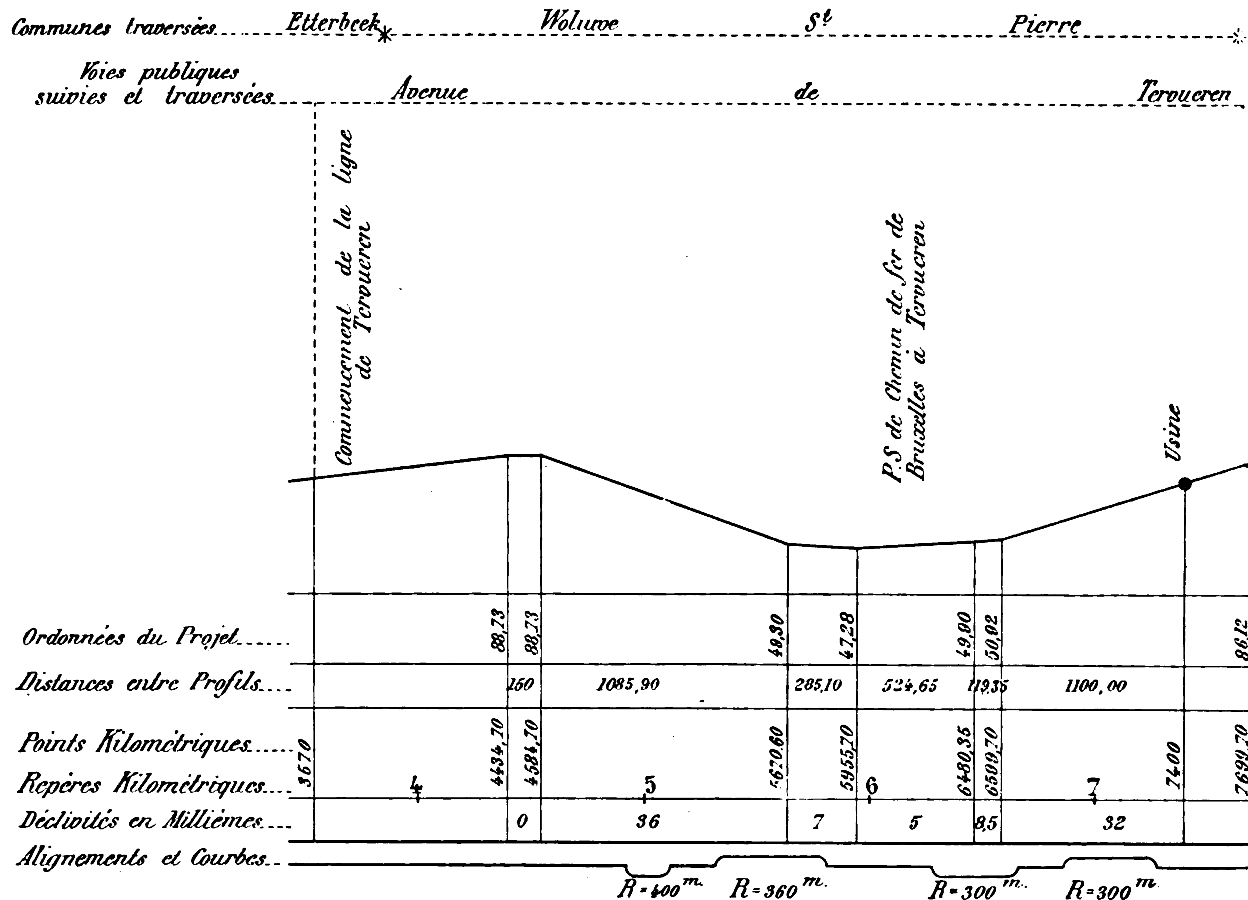


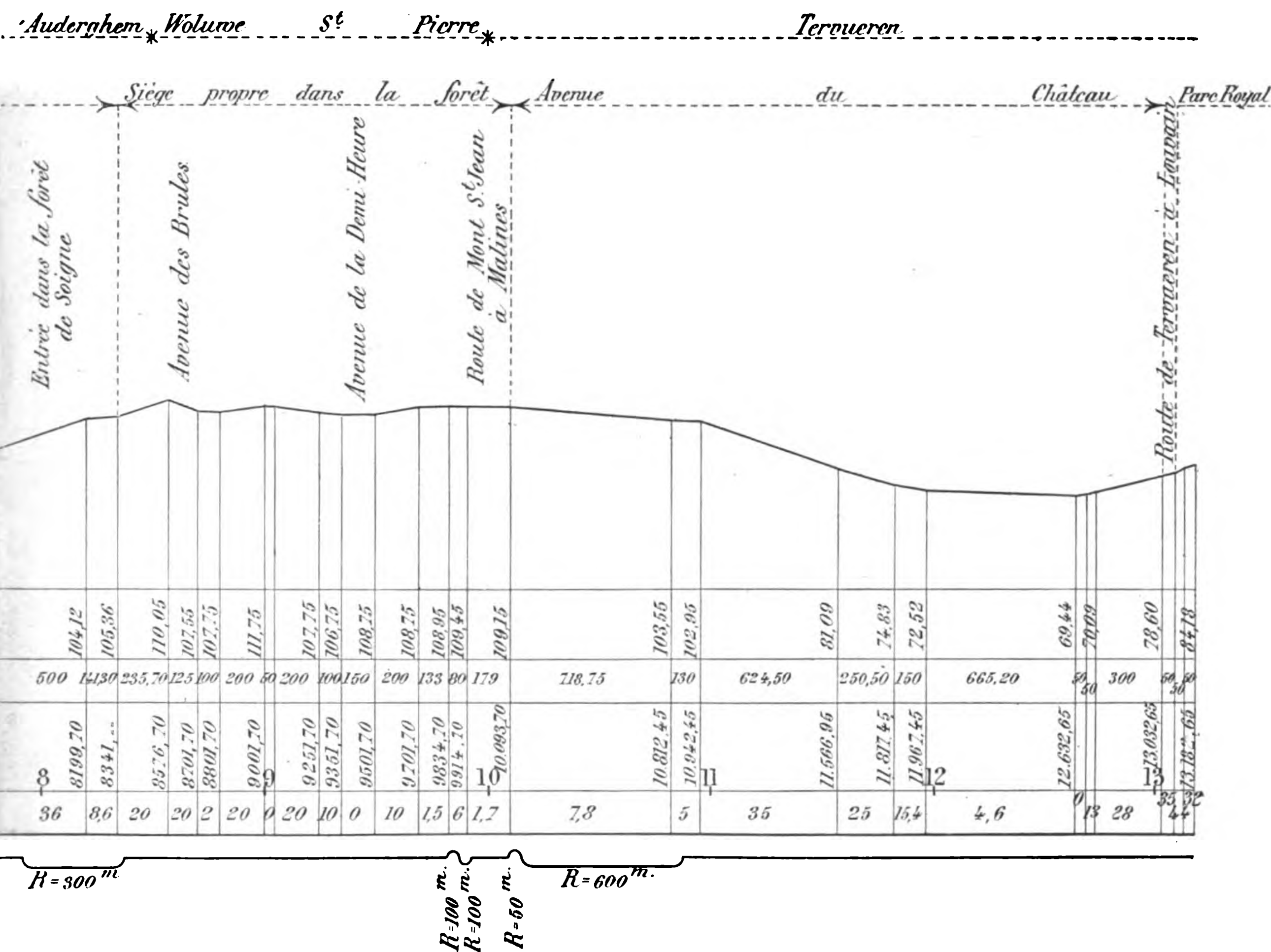
Fig. 1. — Profil et tracé de la vo

pourrait en tirer. Nous ne chercherons pas ailleurs l'origine de l'exposition de Terwueren. Après avoir constitué le Congo, il était naturel d'indiquer la route qui y conduit. De là a surgi, toujours sous l'aiguillon des suggestions royales, la création d'une superbe avenue de 80 m de longueur qui marque la liaison symbolique et durable de la Belgique au Congo.

Nous qualifions cette route de magnifique. Elle le deviendra dans l'avenir, notre vision se porte à quelque 20 ans d'ici pour découvrir les épaisses frondaisons de ces 4 rangées de marronniers dont elle est complantée, bordées par deux chaussées carrossables, des routes cyclistes et cavalières. Elle parcourt un pays accidenté où se révèle sous une douce lumière moite et tamisée l'expression pro-

fonde des peintres paysagistes flamands; elle traverse la forêt de Grenendal où s'érigent des alignements de hêtres droits comme des piliers de cathédrale. L'endroit dit des Quatre Bras est particulièrement enchanteur. Cette voie nouvelle jalonnera dans le cours des siècles le souvenir de l'exposition de Bruxelles-Terwueren.

Si, grisé par l'impression ressentie au contact d'une nature en pleine floraison, nous nous sommes légèrement écarté de notre sujet nous nous hâtons d'y revenir.



desservie par 5 voitures électriques.

Le long de cette avenue court le chemin de fer électrique, à la mise en service duquel nous avons assisté.

Les murs de la ville étaient zébrés de papillons dont voici la forme et la teneur :

TRAMWAY DE L'AVENUE DE TERWUEREN

HORAIRE :

A partir du 15 mai un service par traction électrique et comportant des départs de quart d'heure en quart d'heure, sera organisé entre le parc du Cinquantenaire et Terwueren-Exposition.

Du Cinquantenaire (derrière l'exposition) vers Terwueren :

Depuis 7 heures du matin jusqu'à 7 heures du soir.

De Terwueren (Exposition) vers Bruxelles-Exposition :

Depuis 7 h. 45 du matin jusqu'à 7 h. 45 du soir.

PRIX DU PARCOURS ALLER ET RETOUR

En 1re classe.	0,70 fr.
En 2e classe	0,50 fr.

Cet ordre de service émane de la Compagnie des chemins de fer vicinaux qui a entrepris l'exploitation de la ligne; la fréquence des départs sera ultérieurement modifiée pour répondre aux nécessités du trafic.

Disons tout de suite que cette ligne ne s'arrête pas aux terrains de l'exposition de Bruxelles, ce n'est actuellement que son terminus provisoire, elle se prolongera au delà par les rues sur une longueur d'environ 3,5 km, faisant suite à gauche du dessin du profil longitudinal et du tracé que nous reproduisons.

Seul a été terminé, dans les délais stipulés par les contrats d'engagement, l'établissement de la portion de la ligne et des machines dont l'installation avait été confiée aux soins de la *Compagnie générale de traction et d'électricité* de Paris. Elle a un développement total de 10,500 km.

Voie de roulement. — Le tracé des courbes et des alignements du dessin n'est pas exactement celui qui a été exécuté dans la réalité; des circonstances locales ayant fait naître des obstacles au dernier moment, des corrections ont été apportées à l'exécution. Les rayons des courbes descendent parfois en dessous de 20 m, presque toujours avec contre courbes après de courts alignements droits. Les rampes sont nombreuses et atteignent souvent 5 p. 100 de déclivité.

La ligne prend naissance derrière les bâtiments de l'exposition du parc du cinquantenaire à Bruxelles.

Ici, comme au bazar de la rue Jean-Goujon où l'on avait négligé de pratiquer des issues suffisantes, l'architecte de l'Exposition a totalement omis d'ouvrir une porte d'accès. C'est un oubli réparable. En relevant ce détail comique d'une disposition d'ensemble qui ferme la porte au nez des visiteurs qui se présentent, nous agissons en fidèle historiographe qui doit saisir tous les faits au passage.

La voie de roulement est constituée par des rails Vignole du poids de 25 kg au mètre courant, posés sur traverses en bois, avec tringles d'entretoisement espacées de 1,25 m. La ligne est à double voie et à écartement de 1 m entre rails.

Les jonctions électriques aux éclissages sont faites au moyen de deux fils de cuivre étamé de 10 mm de diamètre. Le mode d'établissement de ce joint est très simple et favorise la promptitude d'exécution, tout en fournissant une grande sécurité. Un trou cylindrique est perforé dans l'âme du rail, dans lequel on introduit une douille en cuivre qui reçoit le fil de jonction puis à l'aide d'un outil à levier appuyé énergiquement contre la douille et contre le flanc du rail, on martèle à la bouterolle l'autre extrémité qui, ainsi rivée en quelque sorte, détermine un serrage énergique et une grande intimité de contact des surfaces adhérentes. Des fils de croisement assemblés de même façon aux deux files de rails de chaque voie sont établis à des espacements de 54 m ; de même les deux rails du côté de l'entre-voie sont réunis à des distances de 108 m sur tout le développement de la ligne.

Ligne aérienne. — La ligne aérienne comprend deux conducteurs parallèles, en forme de 8 symétrique, ayant chacun une section de 125 mm², suspendus par l'intermédiaire d'isolateurs à des potences fixées sur des poteaux métalliques implantés latéralement à la voie.

Les bobines de fil enroulé sur tambour développaient une longueur de fil de 800 m. Il a fallu l'intervention d'un matériel spécial pour son établissement.

Voici comment M. Le Blanc, l'ingénieur de la Compagnie générale de traction, a fait procéder à son montage :

Les bobines montées sur axe furent placées sur un wagon que remorquait une locomotive à vapeur. Au fur et à mesure du déroulement, le fil était provisoirement attaché sur les potences. Après quoi, passait un autre wagon muni d'une plate-forme exhaussée où accédaient les ouvriers monteurs pour définitivement fixer le fil sur les supports des isolateurs. L'appareil de fixation est très simple et d'installation rapide. Il se compose d'une sorte d'étau, entre les mâchoires duquel on insère 2 mordaches en cuivre étamé de 12 cm de longueur épousant par leur réunion le profil du fil ; on enfile le conducteur puis on serre énergiquement 2 vis situées sur le sommet de l'étau. Le serrage de ces vis obligent les 2 mordaches à s'appliquer étroitement sur le profil du conducteur. Les surfaces de contact sont grandes et la liaison est parfaite.

Par un procédé semblable on relie les



Fig. 2. — Tramways électriques de Bruxelles à Terwueren.

abouts des longueurs de fil et on verse de la soudure dans les interstices. Sous l'action du serrage des vis à pointe de l'étau, on obtient une soudure formant un ensemble compact et robuste. Le courant des machines est amené à la ligne par des feeders souterrains partant du tableau de distribution et greffés sur les conducteurs juste en face de l'usine. Le véritable feeder est aérien et règne d'un terminus à l'autre de la ligne. C'est un fil de cuivre de 10 mm de diamètre supporté par des isolateurs fixés sur les poteaux. Il sera ultérieurement relié aux fils de ligne à l'une et l'autre extrémité et à des points intermédiaires, s'il y a lieu.

Le pôle négatif de la dynamo est en relation avec le sol, les rails le sont également par un faisceau de conducteurs nus aboutissant à l'usine et posés en caniveau.

Usine motrice. — Distante d'environ 3,5 km du terminus de la ligne à Bruxelles et de 7 km de Terwueren, la station génératrice est située à Woluwe dans des conditions très favorables pour son alimentation en eau de rivière et la condensation de la vapeur. L'eau de la rivière passe en souterrain, s'étale en des étangs spacieux constituant des réservoirs naturels d'où elle est aspirée par un puisard pour être refoulée, mélangée avec la vapeur condensée, dans les chaudières.

Le charbon est amené par un chemin de fer de l'État belge qui longe les bâtiments de l'usine. Jusqu'à présent il n'existe pas encore de méthode de déchargement autre que par coltinage ; mais on conçoit qu'il est possible de l'opérer mécaniquement par un dispositif qui permettra de déverser le combustible sur le carreau de la chambre des chaudières.

La chambre des chaudières et la salle des machines sont attenantes et au même niveau. La première occupe une superficie de 12,250 m × 19,140 m ; elle est éclairée par deux grandes baies vitrées dans chacun des murs en pignon et par quatre autres baies semblables dans la paroi faisant face aux foyers. En outre, deux portes latérales à double vantail y donnent accès.

Les six chaudières qui y sont installées ont été commandées en décembre dernier aux établissements Piedbœuf, de Jupille près de Liège, par la *Compagnie générale de traction*. On avait d'abord eu l'intention de monter des chaudières Cornwall Galloway ; seulement l'emplacement a rendu impossible l'exécution du projet et, après examen, on a adopté les chaudières de 120 m² de surface de chauffe chacune, produisant de la vapeur à 8 atmosphères pour fournir une puissance de 1500 chevaux en marche normale et au besoin 2200 chevaux en marche forcée.

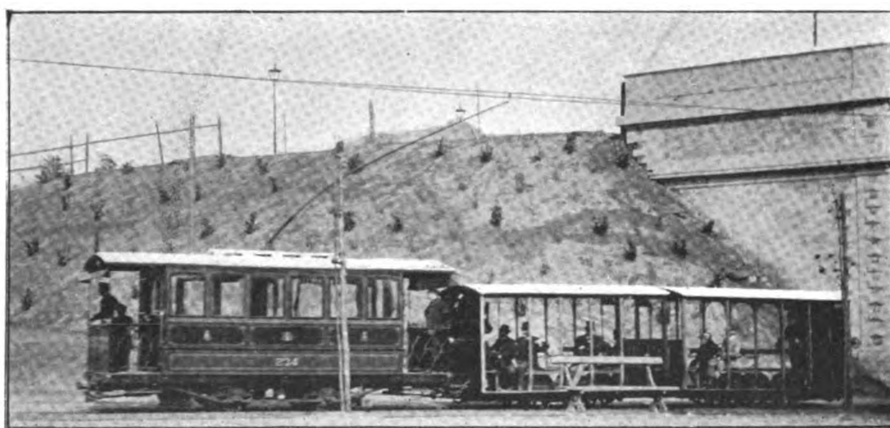


Fig. 3. — Tramways électriques de Bruxelles à Terwueren.

Le 28 mars, la fourniture de ces appareils était faite.

Les générateurs sont du système semi-tubulaire à bouilleurs.

Dimensions principales :

Corps	1,800 m	de diamètre
	4,800 m	de longueur
2 bouilleurs	0,750 m	de diamètre
	4,800 m	de longueur

70 tubes à fumée.

Sur chaque chaudière se trouve un réservoir spécialement combiné en vue de l'obtention de la vapeur sèche.

Le corps cylindrique est constitué par des viroles d'une seule pièce. La fonte est presque complètement bannie de ces appareils, caractère qui nous a frappé. Les fonds des bouilleurs sont en acier et emboutis pour le trou d'homme.

La devanture est en tôle d'acier et les montants en fers profilés.

Les six chaudières placées côte à côte forment un massif couvrant une surface de 16,500 m en longueur et 8,500 m en largeur. Une galerie à laquelle on accède par deux escaliers, court, à 2,400 m du sol, le long de la devanture et permet la visite des tubes, des appareils indicateurs et de sûreté. Les soupapes sont du système Maurice à échappement progressif.

La mise en pression de ces générateurs n'a pas donné le moindre inconvénient. Personne ne sera surpris de ce résultat,

qui connaît la réputation universelle méritoirement établie des établissements Piedbœuf.

La cheminée s'élève à 35 m de hauteur.

La salle des machines comporte une superficie de 18,250 m × 19,140 m.

La lumière y est abondamment versée par cinq baies vitrées dans chacun des pignons et deux baies semblables pratiquées dans le mur de fond, intercalées entre deux grandes portes. Un évent vitré couronnant le faîtage évacue la chaleur et les vapeurs, déterminant un rafraîchissement rationnel de l'atmosphère.

Au moment où paraîtra cet article, deux unités motrices seront en fonctionnement.

Chaque unité comprend une machine à vapeur d'une puissance de 300 chevaux à 130 révolutions par minute avec pression de 7 atmosphères à l'admission de la vapeur dans les cylindres, construite dans les ateliers de la société anonyme « Le Phénix » de Gand.

C'est une machine horizontale, système compound, à condensation, dans laquelle les pistons des deux cylindres agissent sur des manivelles à angle droit. Elle est munie de la distribution Hertay, à détente variable par le régulateur du cylindre à haute pression, et d'une détente fixe ou réglable à la main au cylindre à basse pression. Les introductions respectives et le rapport des volumes des cylindres sont réglés de manière à ce qu'il soient également chargés. Lorsque l'installation sera complète, l'usine comptera trois machines semblables.

Chaque moteur attaque par courroie de 0,700 m de largeur une dynamo Walker tétrapolaire marchant à 550 tours par minute et débitant 345 ampères sous 550 volts.

Nous nous abstenons d'amplifications sur tout le matériel Walker employé dans cette installation, parce qu'une étude spéciale lui sera consacrée par un de nos collaborateurs. Remarquons, tout à fait en passant, le mode élégant de fixation des balais en charbon sur le porte-balais.

Le tableau de distribution, construction de la compagnie Walker, est monté bien en clarté latéralement au pignon de la salle.

Toute la construction est en fermes métalliques et en briques rouges.

A gauche et en contrebas de l'usine se trouve une vaste remise à 6 voies avec fosses pour abriter le matériel roulant pour 40 trains. Un atelier de réparation y est contigu.

Matériel roulant. — Chaque train est composé d'une voiture automobile et de deux voitures remorquées, construites par la société « la Métallurgique » de Nivelles. Les voitures motrices sont dotées de l'équipement électrique Walker consistant en 2 moteurs de 25 chevaux chacun, à suspension spéciale double, pour le groupement desquels, ainsi que pour le changement de sens de la marche, le conducteur dispose d'un manipulateur communément appelé contrôleur.

Les voitures automobiles contiennent 32 places, l'intérieur est divisé en 2 compartiments par une porte à éclipse. Elles pèsent à vide 7 500 kg. Les véhicules de remorque sont ouverts latéralement, leur poids est de 2 400 kg. Ils sont tous munis d'un frein à volant que manœuvre éventuellement le percepteur des recettes. La vitesse de locomotion est approximativement de 20 km à l'heure.

Le courant est capté sur le fil aérien au moyen du trôlet du système Dickinson, à ressort unique, dont l'embase est disposée dans l'axe des voitures.

Le service inauguré à la date prescrite a continué à fonctionner en toute satisfaction. Que cette constation en soit une également pour tous les collaborateurs de la Compagnie générale de la traction dans une entreprise conduite avec décision et célérité.

Émile DIEUDONNÉ.

LES INSTALLATIONS D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DE LA VILLE DE BRUXELLES

Ces installations, exécutées par l'India Rubber Gutta Percha and Telegraph Works Cy, furent inaugurées le 8 novembre 1893.

A cette date, l'installation ne comprenait que 2 machines à vapeur de 500 chevaux, dont une de réserve, actionnant chacune 2 dynamos de 143 kilowatts ; 3 chaudières et une batterie d'accumulateurs d'une capacité de 2 800 ampères-heure à 220 volts.

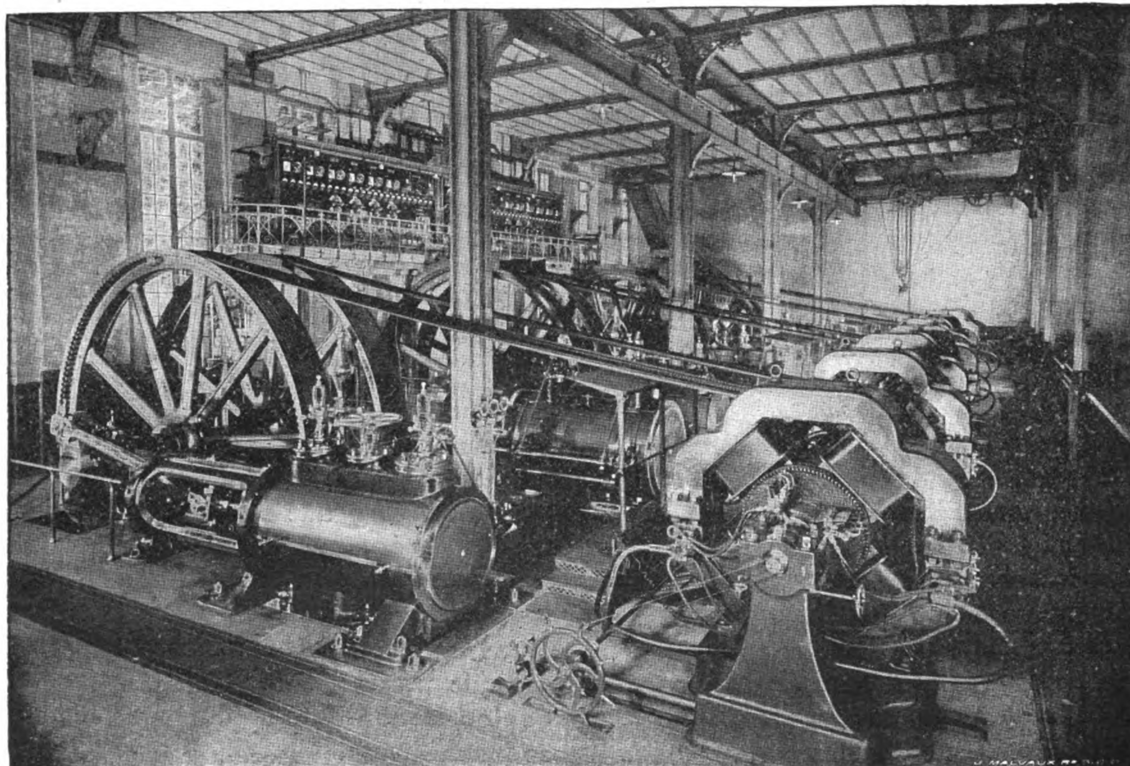


Fig. 1. — Usine principale. Salle des machines.

Le nombre des lampes et appareils raccordés (réduits en lampes de 16 bougies) était :

Au 31 décembre	1893, de	3 665
»	1894,	11 655
»	1895,	20 003
»	1896,	33 739
31 mars	1897,	36 637

et d'ici 2 mois, il sera encore raccordé environ 5 000 lampes pour le palais du Roi et 5 000 lampes pour des rampes d'illumination aux ministères.

Cette augmentation rapide a nécessité des accroissements immédiats des installations et à l'heure présente, l'usine principale comprend 4 machines de 500 chevaux et une double batterie d'une capacité de 5 600 ampères-heure à 220 volts.

En outre, 2 stations secondaires ont été installées et comprennent, l'une : 4 moteurs à gaz de 120 chevaux (dans deux mois, ce nombre sera porté à 7) et une batterie de 2 000 ampères-heure de capacité à 220 volts ; l'autre : deux moteurs à gaz de 65 chevaux et une batterie de 1 000 ampères-heure à 220 volts.

I. — Usine principale A.

Bâtiments. — L'usine principale est située rue Melsens. La superficie occupée par les bâtiments est de 1 405 m².

Au rez-de-chaussée se trouvent : la salle des machines (fig, 1) de 36 m de longueur sur 15,50 m de largeur et 8,50 m de hauteur; la salle des chaudières de 31 m sur 17 m.

Au-dessus de la salle des machines : la salle des accumulateurs, l'atelier de réparations et le magasin principal.

Au-dessus de la salle des chaudières : le réservoir d'eau, d'une capacité de 200 m³, le magasin à coke et l'épurateur.

Un pont-bascule est installé à l'entrée de l'usine. Le coke est amené à l'étage par un monte-charge mû par un moteur électrique.

Le pont roulant, installé dans la salle des machines, a une puissance de 15 tonnes.

Sous la salle des machines règne un massif général de fondation de 2 m d'épaisseur, isolé des murs et des colonnes, sur lequel sont posées les fondations des machines.

La cheminée a 56 m de hauteur au-dessus du sol et 2,50 m de diamètre intérieur au sommet.

Les locaux, établis le long de la rue Melsens, comprennent les bureaux de l'Administration et une salle de vérification avec tous les instruments nécessaires.

Les plans d'exécution des bâtiments et la surveillance de construction ont été faits par M. l'architecte E. Devreux, M. H. Labarre étant l'entrepreneur.

Chaudières. — 6 chaudières sont actuellement placées. Elles sont du type Babcock et Wilcox, multitubulaires, inexplosibles, à chauffage extérieur aux tubes. Elles ont été construites par la maison Brouhon, de Liège.

Chaque chaudière a une surface de chauffe de 226 m²; elle est capable de vaporiser dans les meilleures conditions 2 560 kgr d'eau par heure et éventuellement 3 300 kgr. Elle est timbrée à 9 atmosphères.

En vue de l'emploi du coke, la surface de la grille a été portée à 5,20 m².

Les essais faits en 1895 et 1896 avec du coke d'un pouvoir de 7 762 calories (eau et cendres déduites) ont montré que la quantité de vapeur à 5 atmosphères fournie par kilogramme net de coke est de 9 kg.

Il y a, par paire de chaudières, un « économiser Green », d'une surface de chauffe de 192 m².

Il résulte d'une série d'essais que la température de l'eau d'alimentation augmente d'environ 55° après le passage dans l'économiseur Green.

Les eaux d'alimentation et de condensation sont prises au bassin, derrière le Marché au Poisson, par deux conduites en fonte de 0,45 m de diamètre intérieur.

L'épurateur est du système Dervaux, basé sur l'emploi simultané de l'eau de chaux et du carbonate de soude.

Cet appareil permet l'épuration de 10 000 litres d'eau à l'heure.

L'alimentation des chaudières est faite par 3 pompes à vapeur Worthington (dont une de réserve). Ces pompes donne 12 000 litres à l'heure. Chaque chaudière est munie, en outre, d'un injecteur « re starter ».

Machines. — L'installation actuelle se compose de 4 machines à vapeur (dont une de réserve) de 500 chevaux indiqués, pouvant donner 625 chevaux indiqués. La halle peut être agrandie de façon à y installer encore deux nouvelles machines.

Ce sont des machines Coumpound, du système Sulzer, à détente variable par le régulateur au petit cylindre et fixe au grand cylindre. Elles ont été construites par la maison Carels, de Gand.

Elles sont à condensation; mais elles peuvent fonctionner avec échappement à l'air libre. Toutes les pièces des machines sont rigoureusement semblables, de telle façon qu'une pièce quelconque d'une machine puisse servir de pièce de rechange pour une autre machine.

Diamètre du petit cylindre. .	675 mm.
» du grand cylindre .	1 010 »
Course commune des pistons. .	1 200 »
Nombre de tours par minute »	62 à 75

***

Les volants ont 5,80 m de diamètre ; chacun a 9 gorges recevant 9 câbles de transmission de 40 mm de diamètre. Les volants pèsent 18 tonnes. Il y en a deux par moteur.

Le rendement des machines, dans de bonnes conditions de marche, est de 90,6 p. 100 d'effet utile. La consommation par cheval indiqué et par heure est de 6,35 kgr de vapeur et de 0,7 kgr de coke net.

Dynamos. — L'installation comprend 8 dynamos tétrapolaires à anneau tambour excitées en dérivation, construites par la Société Électricité et Hydraulique de Charleroi ; chacune d'elles peut donner un débit de 143 kilowatts à une vitesse de 300 ou 360 tours par minute.

Elles sont attelées par paires à chacune des machines. Elles fournissent, chacune en marche normale, 1 100 ampères sous 130 volts et sont mises par 2 en tension. Pour la charge des accumulateurs, elles fournissent, à la vitesse de 360 tours, un débit de 800 ampères, sous un voltage de 180 volts.

Leur poids est de 17 tonnes, dont 9 700 gr pour la culasse et les inducteurs, 3 100 kgr pour l'arbre et l'induit mobile.

Les culasses sont en acier coulé, composées de deux pièces jointes par des boulons. Les masses des inducteurs sont venues de fonte avec la culasse. Les bobines inductrices de section rectangulaire viennent s'enfiler sur ces masses et y sont maintenues par deux épanouissements en fer doux vissés sur leurs extrémités. Les bobines sont constituées par une âme en tôle, garnie de forts ailerons en bois. Les spires de l'enroulement sont en fil de cuivre électrolytique de 41/10, isolé par un triple guipage de coton laqué.

L'induit, en forme de tambour, se compose d'un noyau maintenu sur l'arbre au moyen de deux croisillons. Le noyau forme un tore de fer doux, constitué au moyen de disques de tôle jointifs, enduits d'un vernis isolant.

Les spires de l'induit sont des barres de section rectangulaire, composées de fils de cuivre tordus et câblés ensemble, puis laminés.

Le collecteur se compose de lames de cuivre rouge, séparées par des lamelles de mica.

Les porte-balais sont en bronze, au nombre de quatre. Ils portent chacun quatre balais : ceux-ci sont en toile de cuivre rouge. Le déplacement des porte-balais se fait à l'aide d'un secteur en fonte, mû par une vis sans fin, avec volant à main.

La puissance électrique disponible *aux bornes* de la dynamo, par rapport au travail *indiqué au moteur*, est, d'après une série d'essais, en moyenne de 85,5 p. 100, en pleine charge (rendement général de la partie mécanique).

Accumulateurs. — La batterie d'accumulateurs est du type Julien ; elle a été fournie par la Compagnie *l'Électrique*. Elle comprend 280 éléments, d'un poids de 325 kgr de plaques, y compris les contacts.

Le poids total de la batterie montée est de 160 tonnes.

Les 280 éléments montés par deux en quantité et par 140 en série forment deux batteries de 70 éléments doubles ; 26 éléments doubles de chaque batterie sont reliés par des barres de cuivre aux adjoncteurs du tableau de distribution, de manière à pouvoir faire varier, de 44 à 70, le nombre des éléments dans les circuits de décharge ou de charge.

Pour chaque demi batterie il est installé un ampèremètre et une résistance qui peuvent être intercalés pendant la charge. L'on fait alors varier la résistance de façon à égaliser la charge de chaque demi-batterie.

Chaque groupe de 2 éléments en quantité peut donner une décharge de 700 ampères pendant 8 heures. Exceptionnellement, en cas d'accident, la batterie pourra donner une décharge de 2 800 ampères pendant 30 minutes, sous 260 volts.

Les boîtes sont en plomb antimonieux, posées sur petits cadres en chêne supportés par des isolateurs en porcelaine.

Le minimum du rendement en énergie des accumulateurs est garanti de 70 p. 100. Plusieurs essais ont donné un rendement moyen de 82 p. 100.

Tableau de distribution. — Le tableau de distribution (voir fig. 2) est disposé au milieu d'un des longs côtés de la salle, à 3,80 m de hauteur.

Il porte les appareils et les connexions nécessaires pour le service des dynamos et des accumulateurs sur une distribution à trois fils.

Il est établi pour 6 machines, dont chacune ferait fonctionner deux dynamos à 130 volts,

Les dynamos sont mises par 2 en tension. Le neutre du groupe est relié par un câble à une barre commune neutre où sont reliés les neutres de toutes les dynamos et de la batterie. — Le plomb qui existait précédemment sur

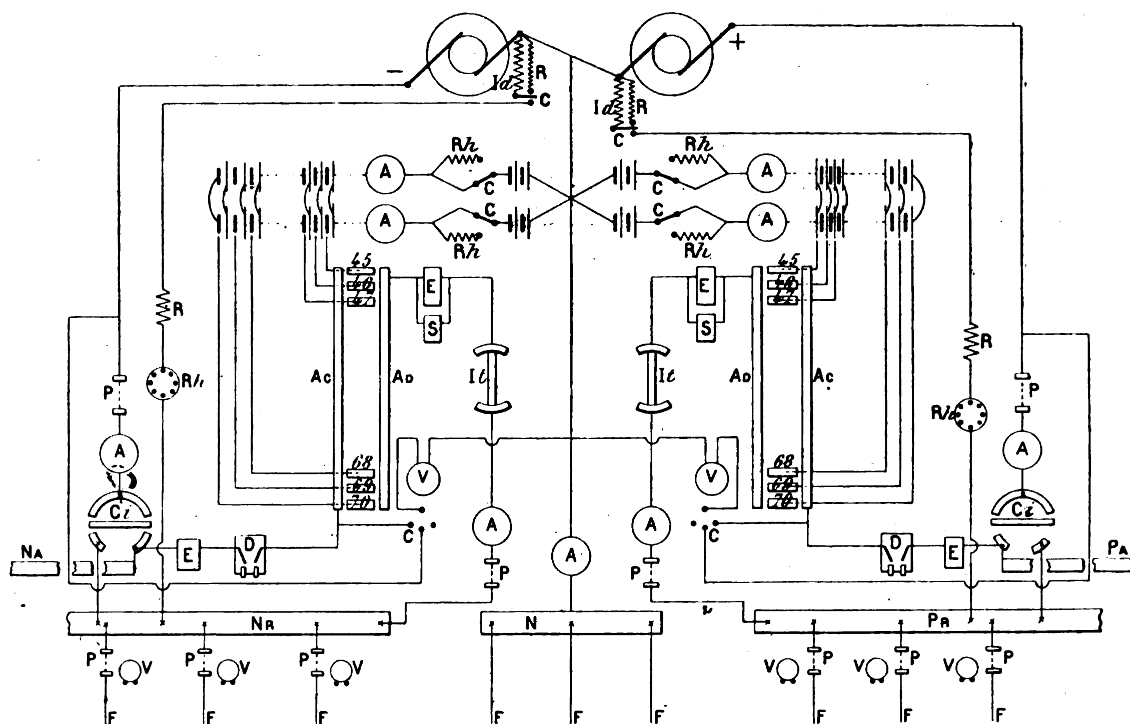


Fig. 2. — Schéma des connexions du tableau de distribution de l'usine A (rue de Melsens).

A, ampèremètre; E, ampèremètre enregistreur; S, shunt automatique; V, voltmètre; Ac, additeur de charge; Ad, additeur de décharge; D, disjoncteur automatique: It, interrupteur; C, commutateur; Ci, commutateur-interrupteur; R, résistance; Rh, rhéostat; P, coupe-circuit; Id, inducteurs; PR, barre générale réseau (positive); PA, barre générale accumulateur (positive); NR, barre générale réseau (négative); NA, barre générale accumulateur (négative); N, barre neutre; F, feeder.

chacun de ces neutres a été supprimé. — Les extrêmes de chaque groupe de deux dynamos sont reliés par un plomb, et un ampèremètre à un grand commutateur-interrupteur à deux voies qui permet de mettre la machine sur une barre commune positive ou négative, reliée aux accumulateurs, ou sur une barre commune positive ou négative reliée au réseau. La batterie est reliée par un additeur de charge, un ampèremètre enregistreur et un interrupteur automatique à minimum à chacune des deux barres accumulateurs.

Pour la décharge, la batterie est reliée sur chaque pôle aux barres réseau, dont il est parlé plus haut, par un autre additeur, un ampèremètre enregistreur protégé par un shunt automatique mettant l'appareil en court-circuit pour une décharge de 800 ampères, un interrupteur simple, un ampèremètre ordinaire marquant jusqu'à 2 800 ampères, et un plomb fusible. Ces appareils occupent la partie centrale du tableau.

Les circuits d'excitation des dynamos sont placés en shunt de la manière suivante : une des extrémités de l'enroulement des inducteurs est attachée d'une façon permanente

au pôle neutre du groupe des deux dynamos; l'autre extrémité arrive à un interrupteur fixé sur la dynamo. Cet interrupteur est relié à la barre générale positive ou négative du réseau, en passant par un rhéostat à manette. Pour supprimer à la rupture du circuit d'excitation, l'étincelle due à la « self-induction », le circuit des inducteurs est par cette manœuvre fermé sur lui-même.

Il est à remarquer qu'avec les dispositions adoptées, le circuit d'excitation est fermé et le champ magnétique établi avant la mise en marche des machines, le courant d'excitation étant alors emprunté à la batterie. Cette situation est fort avantageuse et prévient absolument tout défaut d'amorçage. Lorsque la machine est reliée sur réseau, le courant d'excitation est fourni directement par la machine en question.

24 feeders peuvent être reliés aux barres générales du tableau de distribution. Les conducteurs positif et négatif de chaque feeder passent par un coupe-circuit et un rhéostat composé de résistances en platinoïde pour le réglage de la tension aux centres de distribution. Le fil neutre de chaque feeder est relié directement à la barre générale neutre du réseau et celle-ci par l'intermédiaire d'un ampèremètre est reliée à la barre neutre où sont connectés tous les neutres des dynamos.

De chacun des centres de distribution des feeders partent trois petits fils de tension câblés sous une même enveloppe et qui sont reliés à la station à deux voltmètres où ils indiquent la tension sur chaque pont.

Dans la partie centrale du tableau, on a encore disposé deux voltmètres reliés chacun à un commutateur à sept touches pour indiquer la tension à chaque dynamo et sur le réseau de façon à permettre la mise en parallèles des machines.

La batterie est toujours reliée sur le réseau et le courant est fourni exclusivement par elle tant qu'il n'atteint pas 600 ampères. A l'heure de la journée où ce débit est atteint, les machines sont mises successivement sur le réseau, la batterie restant toujours en parallèle de façon à régulariser les variations du débit. La charge de la batterie commence à une heure variable, suivant le travail que celle-ci a dû faire la veille, mais l'on s'arrange toujours de façon à ce que la charge des derniers éléments d'adjonction soit complète lors de la mise en marche sur le réseau, de sorte qu'à ce moment, les curseurs de charge et de décharge se trouvent sur le même plot. Le complément de charge nécessaire au corps de la batterie peut ainsi être donné pendant la marche du réseau, l'additeur de décharge relié au réseau servant alors d'additeur de charge.

II. — Usine *B*.

Cette usine, située rue de Louvain, fournit le courant aux Chambres législatives, aux Ministères et aux quartiers Léopold et Notre-Dame-aux-Neiges. Le réseau qu'elle alimente est raccordé au réseau de l'usine centrale par les câbles de distribution, de sorte que dans la journée aux heures de faible charge, une seule station peut, s'il est nécessaire, alimenter le réseau tout entier.

Moteurs. — L'installation comporte 4 moteurs à gaz du système Otto, type horizontal à deux cylindres, de 120 chevaux effectifs. La vitesse est de 160 tours par minute.

La consommation de gaz ne peut pas dépasser 660 litres par cheval effectif et par heure à la puissance de 120 chevaux effectifs, ni 950 litres par cheval et par heure à un débit de 60 chevaux effectifs.

La consommation d'eau par heure ne peut pas dépasser 42 et 62 litres par cheval, respectivement à un débit de 120 et de 60 chevaux effectifs. Ces garanties n'ont pas été dépassées dans les essais.

A pleine charge les variations de la vitesse ne peuvent pas dépasser de 1/80 en plus ou en moins le nombre de tours moyen. Ces données sont vérifiées par la pratique, et la stabilité de la lumière n'a pas à en souffrir.

Les moteurs ont été construits par la maison Fétu-Defize, de Liège.

L'exploitation de cette usine par suite de l'emploi des moteurs à gaz est un peu plus onéreuse que celle de l'usine A. Mais le manque d'emplacement et la faible quantité d'eau disponible à cette station, nécessitaient l'emploi de moteurs à gaz. En supplément le service du gaz étant exploité par la ville, l'emploi du gaz aux stations secondaires procure à la ville des bénéfices indirects, comme d'ailleurs l'emploi de coke au lieu de charbon à la station A.

Dynamos. — Les dynamos sont actionnées directement par les moteurs. Les deux premiers moteurs conduisent chacun une paire de dynamos de 310 ampères sous 125 volts mises en séries ; les deux autres ont chacun une dynamo de 310 ampères sous 250 volts. Pour la charge de la batterie, les dynamos fournissent 220 ampères, respectivement sous 170 volts et sous 340 volts, à une vitesse de 160 tours par minute.

Les dynamos à induits Gramme sont à 10 pôles et excitées en dérivation, le circuit d'excitation étant établi comme rue Melsens. On les fait fonctionner comme moteurs pour la mise en marche des machines à gaz le courant étant alors emprunté à la batterie.

Elles proviennent de la Société Électricité et Hydraulique de Charleroi.

Accumulateurs. — La batterie est du type Julien, et a été fournie par la Société *l'Électrique*.

Elle se compose de 132 éléments, en série d'un poids de 235 kg de plaques, y compris les contacts.

La batterie doit pouvoir donner en régime normal une décharge de 250 ampères à 250 volts pendant 8 heures, et, exceptionnellement en cas d'accident, 680 ampères pendant 20 à 30 minutes.

Les 132 éléments forment deux batteries de 66 éléments. Les 17 derniers éléments de chaque batterie sont reliés par des câbles isolés et sous plomb, aux additeurs du tableau de distribution, de sorte que le nombre d'éléments en service sur chaque pont peut varier de 49 à 66.

Tableau de distribution. — Le tableau de distribution (fig. 3) porte les appareils et les connexions nécessaires pour le service des dynamos et des accumulateurs sur une distribution à trois fils.

Treize feeders peuvent être raccordés au tableau ; il y en a neuf raccordés actuellement.

Les feeders sont alimentés directement par la batterie : chaque fil extrême des feeders est relié à la batterie par l'intermédiaire d'un plomb fusible et d'un additeur de dix-huit touches, de façon que le nombre d'éléments en circuit entre un fil extrême et le fil neutre d'un feeder quelconque puisse varier de 49 à 66 pour la régulation du voltage aux centres de distribution.

Pareillement, chaque pôle extrême des dynamos ou paires de dynamos est relié à la batterie par un même additeur à dix-huit touches en passant par un plomb fusible, un interrupteur automatique et un ampèremètre. — Il est clair que, les machines étant en marche et les curseurs des feeders et des dynamos étant sur le même plot, les dynamos alimenteront, directement le réseau sans que la batterie intervienne.

Le tableau comprend : pour les dynamos, 16 additeurs pour un courant de 325 ampères permettant de relier huit unités mécaniques ; et, pour les feeders, 10 additeurs pour 500 ampères et 16 additeurs pour 200 ampères.

Les neutres des dynamos, batteries, et feeders sont reliés à une barre commune comme au tableau rue Melsens.

Le tableau porte les voltmètres auxquels aboutissent les fils pilotes reliés aux divers centres du réseau de distribution, et les voltmètres nécessaires à la mise en marche.

Il comprend, en outre, les interrupteurs et commutateurs avec rhéostats servant à la

mise en marche des moteurs à gaz par le courant pris aux accumulateurs.

Des ampèremètres enregistreurs renseignent la charge et la décharge *totale* de la batterie. Ils sont placés de part et d'autre de la barre neutre sur les câbles reliant chaque demi-batterie à celle-ci, et non sur les extrêmes parce que, dans le cas présent, les extrêmes sont multiples, chaque feeder ou dynamo ayant son additeur spécial, de sorte que le débit des éléments d'adjonction varie de l'un à l'autre suivant les curseurs placés sur chaque plot. Le service de cette station est réglé comme celui de la station A, la batterie étant continuellement reliée au réseau et les dynamos étant mises sur réseau dès que la décharge atteint 200 à 250 ampères. — Les dynamos, à l'inverse de ce qui se

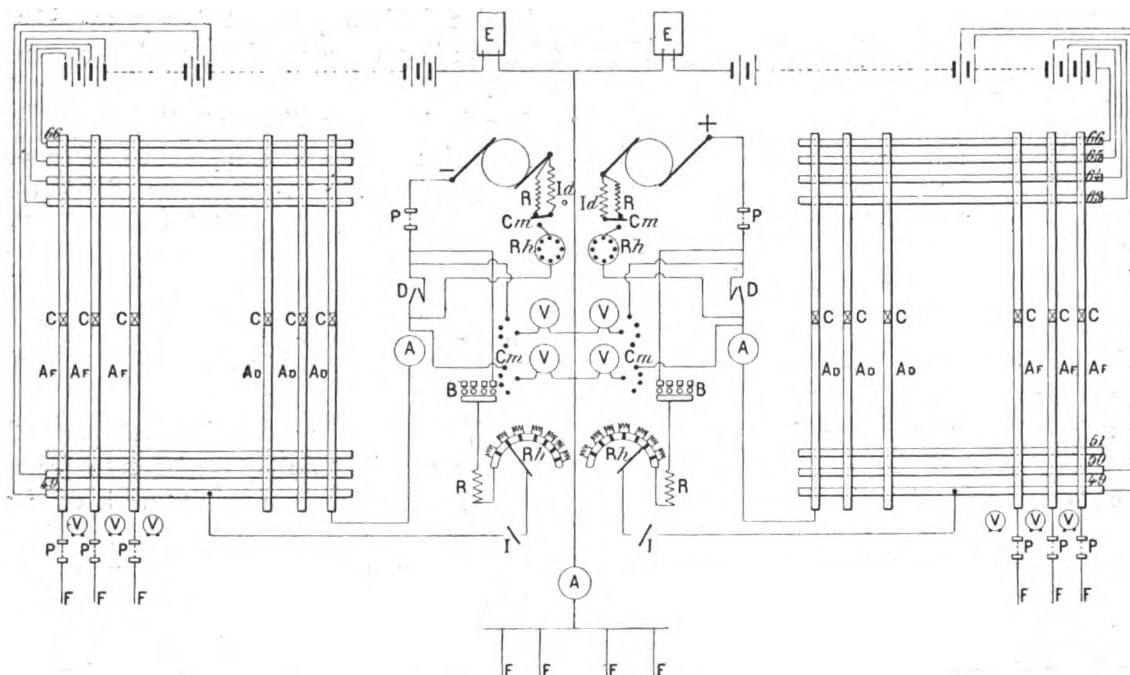


Fig. 3. — Schéma des connexions du tableau de distribution de l'usine B (rue de Louvain).

A, ampèremètre; E, ampèremètre enregistreur; V, voltmètre; Ad, additeur dynamo; AF, additeur feeder; D, disjoncteur automatique; I, interrupteur; Cm, commutateur; B, commutateur à broches (démarrage); Rh, rhéostat; R, résistance; Id, inducteurs; C, curseur; P, coupe-circuit; F, feeder.

passe rue Melsens, peuvent, étant sur le réseau, fonctionner à des voltages différents, parce que, grâce aux additeurs, chaque dynamo peut être mise en parallèle avec un élément différent de la batterie. C'est ce qui se fait lorsque les curseurs des feeders sont également répartis sur différents plots.

III. — Usine *C*

Cette station, située rue de la Vanne, fournit le courant à l'avenue Louise et aux rues adjacentes situées sur le territoire de la ville.

Le réseau qu'elle alimente est indépendant de celui des deux autres usines.

L'installation et la marche de cette usine sont en tous points semblables à celles de la station B.

Moteurs. — L'installation comporte deux moteurs à gaz de 65 chevaux effectifs semblables à ceux de l'usine *B*, construits par la maison Fétu-Defize, de Liège.

La halle actuelle peut recevoir deux nouveaux moteurs.

Dynamos. — Les dynamos sont du même

type que celles de l'usine *B*, mais à 8 pôles; elles fournissent en service normal 130 ampères sous 130 volts à 150 tours par minute et, pour la charge de la batterie, 100 ampères sous 170 volts à 160 tours par minute.

Accumulateurs. — La batterie, du type Julien, comprend 140 éléments en série donnant, en service normal une décharge, de 125 ampères sous 260 volts pendant 8 heures.

Le poids des plaques de chaque élément est de 120 kg, connexions comprises.

Les 25 derniers éléments de la batterie sont reliés aux bornes des additeurs du tableau pour la régulation de la tension aux centres de distribution ou pour la charge.

Tableau de distribution. — Ce tableau est semblable à celui de l'usine *B*. Il comprend, pour les dynamos, 8 additeurs de 200 ampères et, pour les feeders, 4 additeurs de 400 ampères et 8 de 250 ampères à 26 touches.

IV. — Canalisation

La canalisation est du système dit à trois fils, avec une tension de 110 volts sur chaque pont aux centres de distribution. Pour la station A où tous les feeders sont connectés à la même barre et ont par suite le même voltage au départ, le réglage de la tension aux centres se fait en égalisant les pertes de charge dans chaque feeder au moyen d'une résistance additionnelle intercalée sur chaque feeder. Pour les stations B et C le réglage se fait en faisant varier au moyen du curseur des additeurs de chaque feeder, le nombre d'éléments en service sur le feeder en question. Ces deux systèmes de réglage donnent dans la pratique de bons résultats, le voltage pouvant être maintenu constant à chaque centre à moins de 2 p. 100 près. Tous deux présentent aux heures de faible charge des inconvénients différents. Le réglage par rhéostats est presque impossible parce que la résistance qui est établie une fois pour toutes et ce pour les débits du soir est absolument sans effet dans le jour quand le débit dans ce feeder est voisin de zéro. Pour obvier à cela il faudrait des rhéostats énormes avec un très grand nombre de touches. — Le réglage par additeurs peut se faire d'une façon beaucoup plus précise, mais il est bien plus compliqué. Aux heures de faible débit, il y a à craindre, si les curseurs de deux feeders voisins sont reliés à deux plots différents, qu'il s'établisse un courant parasite, les éléments en supplément sur un de ces feeders étant mis en court-circuit par l'intermédiaire des câbles de même pôle de ces feeders et du câble de distribution qui réunit ces centres dans le réseau. — Une autre complication du réglage par additeurs réside dans le fait suivant : au moment de la mise des machines sur le réseau, ou au moment de la suppression de celles-ci, l'état de régime des accumulateurs varie notablement; il s'ensuit qu'à ce moment, il faut modifier la position du curseur de *tous* les feeders. Cette manœuvre simultanée n'est pas sans difficulté. Ces deux systèmes de réglage sont donc recommandables, mais l'adoption de l'un ou de l'autre doit dépendre des conditions spéciales des réseaux ou fractions de réseaux à alimenter : la station A alimentant un quartier commerçant où les variations de débit sont régulières sur chaque feeder devait avoir un système de réglage simple quoique moins sensible. La station B alimentant des quartiers de consommations fort dissemblables, l'un comprenant surtout des bureaux (ministères), l'autre des magasins (rue Royale), ou des habitations particulières (quartier Léopold), devait avoir un réglage où la simplicité devait être sacrifiée à la précision.

Les câbles sont formés de cuivre d'au moins 100 p. 100 de la conductibilité du cuivre, étalon Matthiesen ; les fils sont étamés, puis recouverts d'une couche de caoutchouc pur, d'une couche de caoutchouc vulcanisé, d'un guipage de ruban caoutchouté et d'une tresse de chanvre imprégné. La résistance d'isolement ne doit pas être inférieure à 2 500 mé-

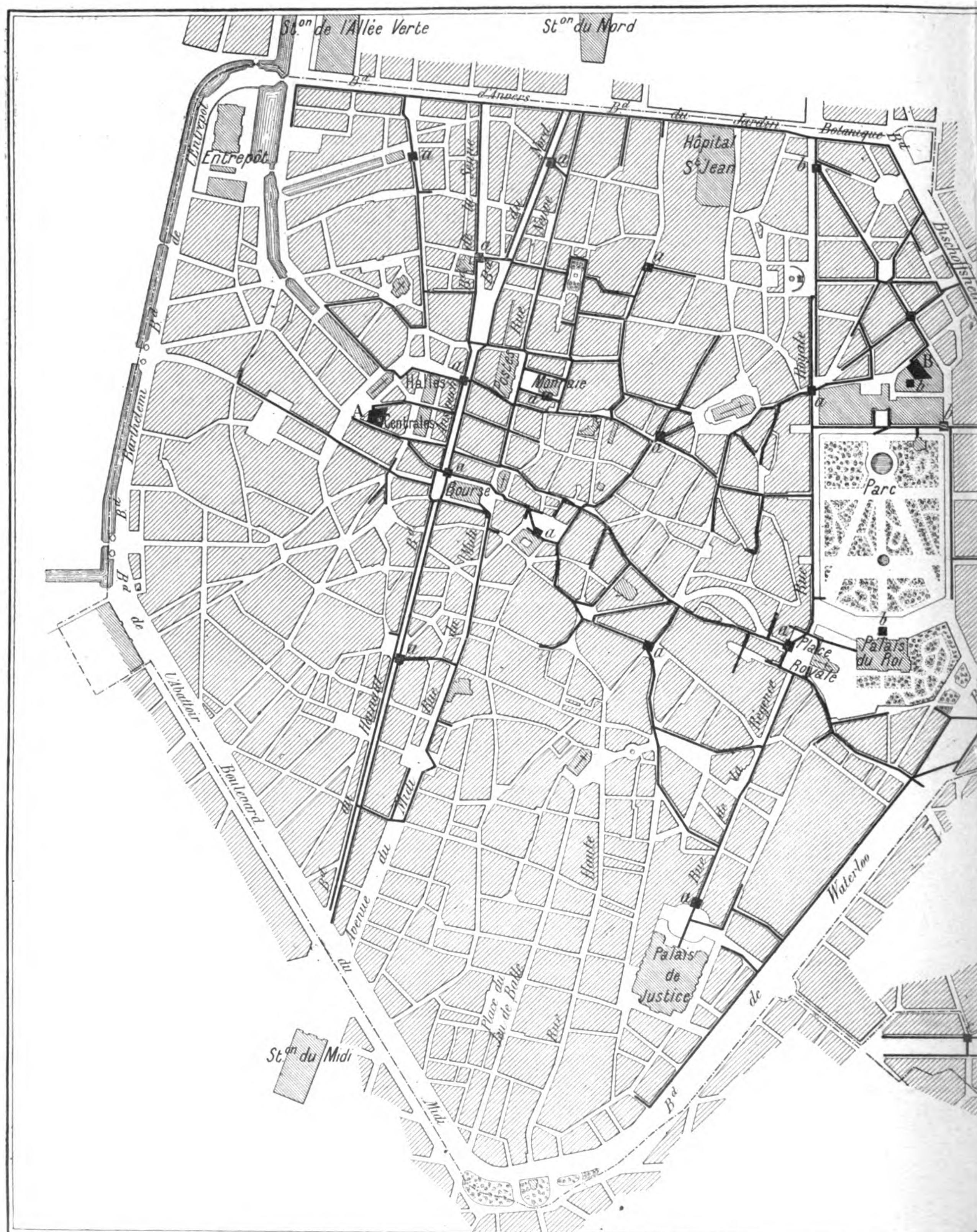
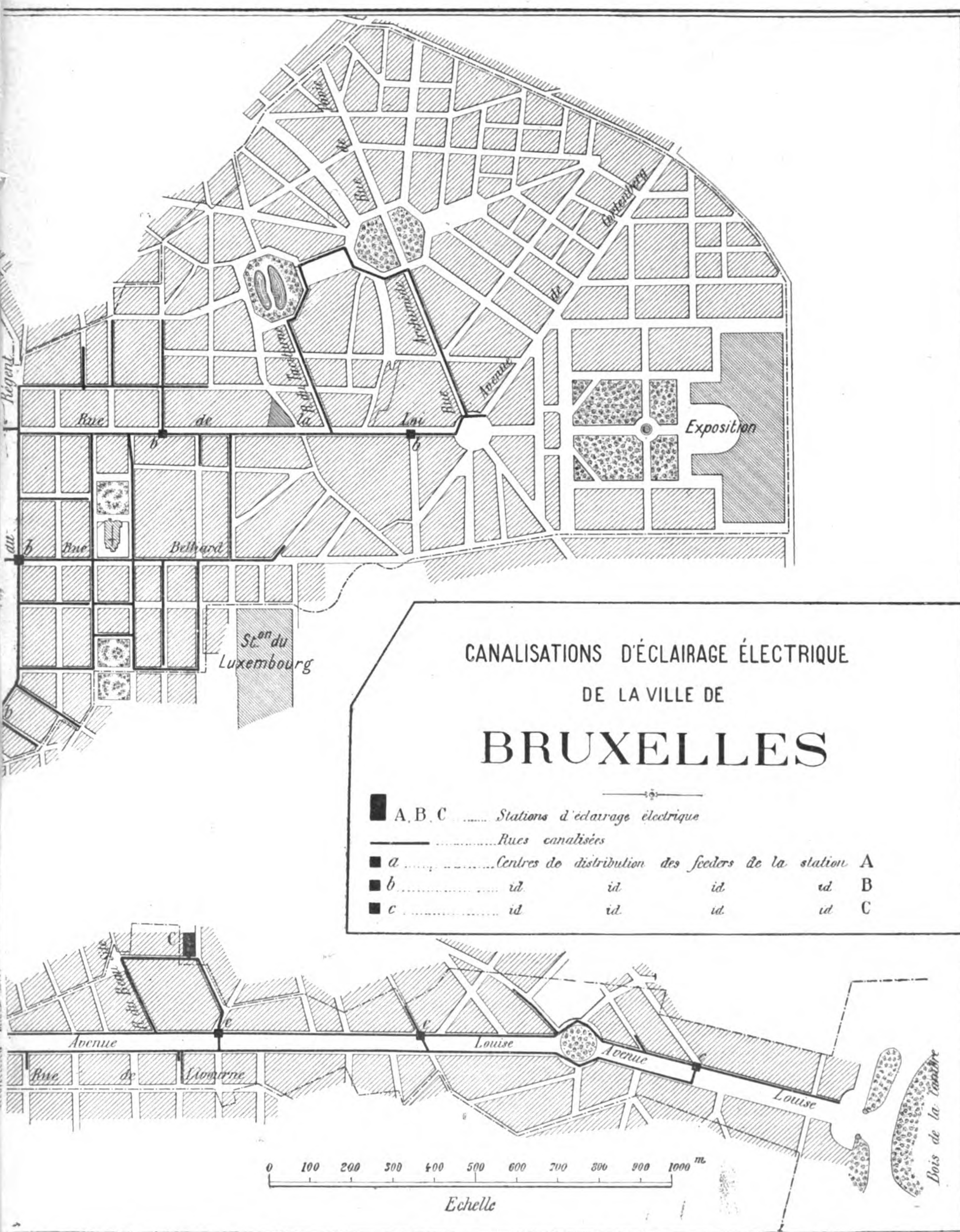


Fig. 4. — Plan de Bruxelles indiquant l



tracé des canalisations des usines municipales.

gohms par kilomètre, dans l'eau à 15° centigrades, après immersion de 24 heures, sous une pression d'au moins 500 volts. Ils sont fournis par l'India Rubber.

Les raccords pour les abonnés sont isolés au caoutchouc et vulcanisés sur place.

Les câbles sont tirés dans les tuyaux en fonte, emboîtés avec joints en caoutchouc. Les câbles de 387 à 774 mm² de section sont tirés dans des tuyaux de 75 mm de diamètre intérieur; ceux de 193 à 322 mm², dans des tuyaux de 60 mm et ceux de 32 à 169, dans des tuyaux de 50 mm de diamètre intérieur.

Ce système de canalisation donne de très bons résultats et son entretien actuel n'entraîne pas à des frais supérieurs à 1/3 p. 100 de la valeur des canalisations.

Les boîtes de tirage en maçonneries cimentées sont placées aux coins des rues ou à des distances ne dépassant pas 80 m. Toute la canalisation est posée sous les trottoirs; les couvercles des boîtes de tirage et de raccordement sont en fonte et garnis d'asphalte. Les boîtes de tirage sont munies de tuyaux d'aérage pour l'évacuation des infiltrations de gaz.

Pour le réseau de l'avenue Louise, qui est tout à fait distinct, les feeders sauf un n'alimentent que les extrêmes. La forme spéciale du quartier à éclairer a permis cette disposition. De cette façon un câble a été économisé par feeder, sauf pour un feeder où au contraire le câble neutre a une section plus forte que de coutume, celui-ci devant porter la différence totale de charge des deux ponts pour le réseau entier. Les neutres de la distribution également ont une section plus grande que d'habitude (leur section est égale à celle des extrêmes) parce que cette fois la distance séparant un point où il y a inégalité de charge des extrêmes et le feeder neutre, est plus grande. Toutefois cette disposition a permis de réaliser une économie dans les frais de canalisation. Le plan ci-joint (fig. 4) indique les rues canalisées et les centres de distribution. Ce plan ne comprend que la ville de Bruxelles proprement dite, seule partie de l'agglomération bruxelloise pouvant être alimentée par le service d'électricité de la ville.

Les feeders suivants sont actuellement raccordés:

Usine *A*. 14 feeders: Bourse, 516 mm²; place Fontainas, 322 mm²; Grand-Hôtel, 516 mm²; Alhambra, 420 mm²; théâtre Flamand, 420 mm²; boulevard du Nord, 420 mm²; rue du Marais, 193 mm²; théâtre de la Monnaie, 420 mm²; Hôtel de Ville, 516 mm²; rue de Loxum, 258 mm²; rue de Treurenberg, 774 mm²; rue d'Or, 258 mm²; place Royale, 710 mm²; Palais de Justice, 420 mm².

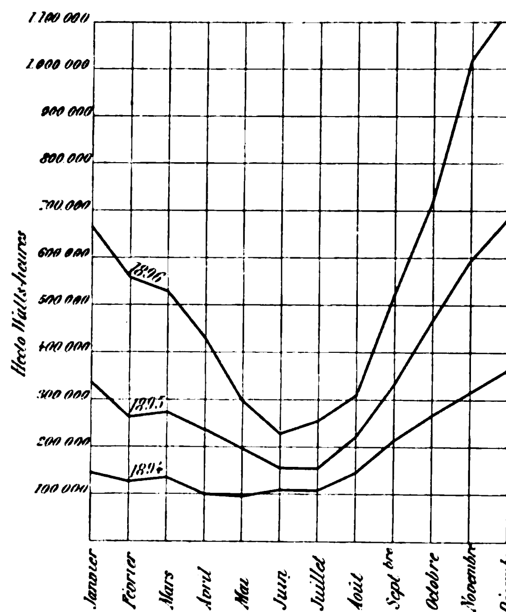


Fig. 5. — Consommation d'électricité.

Usine *B*. 9 feeders: rue d'Egmont, 258 mm²; avenue des Arts, 129 mm²; rue Juste-Lipse, 96 mm²; rue de Spa, 96 mm²; rue Ducale, 570 mm²; Ministère des chemins de fer, 420 mm²; Palais du Roi, 258 mm²; Cirque, 322 mm²; rue de l'Association, 420 mm².

Usine *C*. 4 feeders: rue de la Concorde, 96 mm²; rue Lesbroussart, 96 mm²; chaussée de Vleurgat, 96 mm²; rue de l'Aurore, 96 mm².

Soit au total 27 feeders pouvant alimenter simultanément l'équivalent de 48 250 lampes

de 16 bougies et ayant une section totale de 9 116 mm² de cuivre.

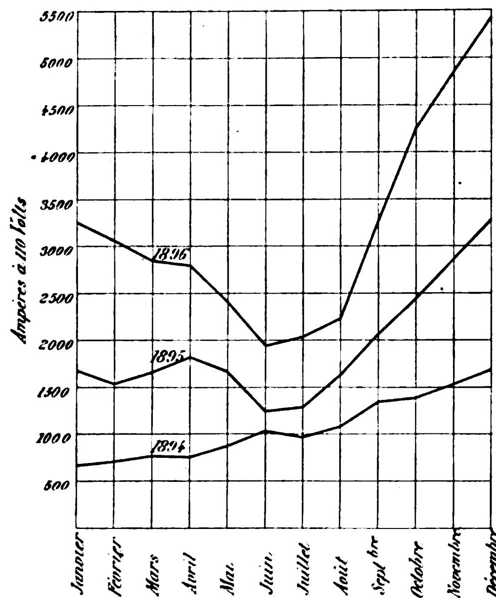


Fig. 6. — Moyenne par mois du débit journalier.

Le développement total de ces feeders y compris les câbles pilotes est de 80 182 m.

Le développement des rues canalisées est

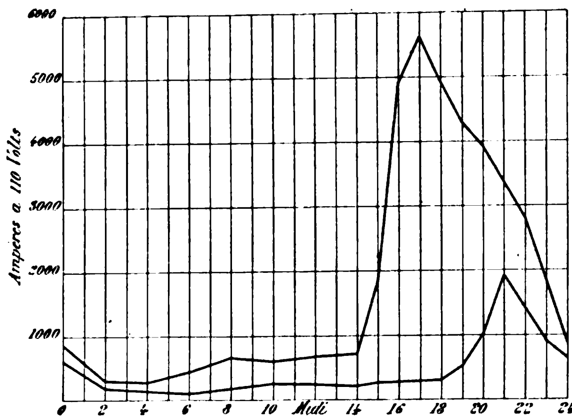


Fig. 7. — Débit moyen horaire en juillet et en décembre 1896.

de 35 670 m, représentant 131 601 m de câbles posés (certaines rues ayant une canalisation double), soit, avec les câbles des feeders, un développement total de 212 km de câbles posé.

Le nombre des lampes et appareils raccordés (réduits en lampes de 16 bougies) est de 36 137.

L'énergie électrique est fournie aux abonnés aux conditions suivantes :

0,04 l'hectowatt-heure pour les usages industriels ;

0,05 l'hectowatt-heure pour l'éclairage particulier contribuant à l'éclairage public (lampes des vitrines, lampes de l'extérieur et des terrasses) ;

0,07 l'hectowatt-heure pour tout autre éclairage.

Des réductions sont accordées pour les clients rapportant plus de 3 500 fr par an ou éclairant plus de 1 000 heures par an.

Le gaz d'éclairage qui est également exploité par la ville, est fourni à raison de 0,13 le m³.

Les installations de la ville fonctionnent dans de très bonnes conditions et la situation du service est des plus florissantes.

Les diagrammes ci-joints (fig. 5, 6 et 7) qui indiquent la marche de l'exploitation depuis 1893 permettront de s'en convaincre.

M. Travailleur.

SUR LES

VARIATIONS DE TEMPÉRATURE

DES LAMPES A INCANDESCENCE

PARCOURUES PAR DES COURANTS ALTERNATIFS

L'étude que M. Ch.-Eug. Guye vient de publier [1] a attiré l'attention sur les variations de température d'un conducteur traversé par des courants alternatifs ; je m'étais moi-même occupé de cette question l'an dernier, et j'étais arrivé aux mêmes résultats généraux que M. Guye ; mais comme j'avais tenté de pousser le calcul un peu plus loin,

[1] *Archives des sciences physiques et naturelles*, 4e partie, t. III, p. 234-262, 15 mars 1897. — *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 216, 24 avril 1897

pour avoir une idée de l'ordre de grandeur numérique du phénomène dans le cas du filament d'une lampe à incandescence, j'indiquerai rapidement les résultats auxquels j'étais parvenu.

Appelons :

r, le rayon du filament ;

l, sa longueur ;

d, sa densité ;

C, sa chaleur spécifique (supposée constante dans l'intervalle de température que l'on considère) ;

$S = 2\pi r l$, sa surface latérale ;

$p = \pi r^2 l d$, sa masse ;

R, sa résistance moyenne (à chaud) ;

J, l'équivalent mécanique de la chaleur (en joules par petite calorie).

Si nous adoptons la loi du rayonnement de H.-F. Weber, la quantité de chaleur (exprimée en petites calories) rayonnée par le filament pendant le temps dt est :

$$dq = kS\theta e^{a\theta}\, dt.$$

formule dans laquelle θ est la température absolue, a une constante, la même pour tous les corps d'après Weber [$a = 0{,}0043$] et k une autre constante dont les valeurs seraient :

$$k = 0{,}000017 \text{ (charbon noir).}$$
$$k = 0{,}000013 \text{ (charbon gris).}$$

Considérons une lampe soumise à une différence de potentiel alternative.

$$e = E_0 \sin \omega t.$$

En écrivant que l'énergie apportée par le courant est égale à la somme des énergies employées à élever la température et rayonnées, on a :

$$\frac{E_0^2 \sin^2 \omega t}{R} = JpC\frac{d\theta}{dt} + JkS\theta e^{a\theta}.$$

Posons

$$\theta = \theta_0 + u,$$

θ_0 étant la température moyenne du filament et u ses variations que nous supposerons harmoniques et petites. Nous pouvons alors, en négligeant les puissances de u supérieures à la première, écrire

$$\frac{E_0^2 \sin^2 \omega t}{R} = JpC\frac{du}{dt} + JkSe^{a\theta_0}[\theta_0 + (1 + a\theta_0)u],$$

ou :

$$JpC\frac{du}{dt} + JkSe^{a\theta_0}(1 + a\theta_0)u = \frac{E_0^2}{2R} - JkS\theta_0 e^{a\theta_0}$$
$$- \frac{E_0^2}{2R}\cos 2\omega t;$$

u étant par hypothèse une fonction harmonique du temps, le second membre de cette équation ne doit pas contenir de constantes : d'où :

$$JkS\theta_0 e^{a\theta_0} = \frac{E_0^2}{2R} = \frac{E^2_{\text{eff}}}{R}.$$

Cette équation signifie que la température moyenne du filament est la même que si on lui appliquait une différence de potentiel constante et égale à la différence de potentiel efficace donnée.

L'équation devient alors :

$$M\frac{du}{dt} + Nu = -P\cos 2\omega t,$$

en posant :

$$M = JpC,$$
$$N = JkSe^{a\theta_0}(1 + a\theta_0),$$
$$P = \frac{E^2_{\text{eff}}}{R}.$$

En intégrant, on trouve

$$\theta = \theta_0 + X\sin(2\omega t - \varphi),$$

avec :

$$X = \frac{E^2_{\text{eff}}}{RJ\sqrt{4\omega^2 p^2 C^2 + k^2 S^2 e^{2a\theta_0}(1 + a\theta_0)^2}},$$
$$\operatorname{tang}\varphi = -\frac{kSe^{a\theta_0}(1 + a\theta_0)}{2\omega pC}.$$

Nous avons pu rassembler au moins approximativement toutes les données nécessaires pour appliquer ces formules à une lampe Siemens de 16 bougies :

$$E_{\text{eff}} = 98, \qquad R = 181,$$
$$k = 0{,}000013,$$
$$r = 0{,}00756, \qquad l = 15{,}6,$$
$$d = 1{,}9, \qquad C = 0{,}51,$$

Le calcul a été fait dans l'hypothèse d'une fréquence de 40. On a trouvé :

$$\theta = 1567^\circ + 9,5 \sin(2\omega t + 2^\circ 41').$$

On voit que, en admettant l'exactitude des formules de Weber [1], les variations de température d'une lampe de 16 bougies alimentée par un courant alternatif de fréquence 40 sont de l'ordre de 10° en plus et en moins de la température normale. En admettant que la puissance lumineuse (en courant continu) est proportionnelle au cube de la puissance électrique, on trouve facilement que cette variation de température, toute faible qu'elle soit, fait osciller la puissance lumineuse de la lampe entre 14,1 bougies et 18,5 bougies, cette oscillation ayant comme M. Guye l'a remarqué, une fréquence double de celle du courant. On sait d'ailleurs qu'il est possible d'observer ces variations d'éclat en agitant un objet brillant dans le voisinage de la lampe : les stries que tout le monde a pu observer dans le cas des lampes à arc, sont encore très sensibles à la fréquence 40 pour les lampes à incandescence. La théorie précédente donne au moins une idée de l'ordre de grandeur de ces variations de la puissance lumineuse.

P. Janet,
Professeur à la Faculté des Sciences,
Directeur du Laboratoire central d'Électricité.

REVUE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Radiateurs électriques E. Gold [2].

Dans le type de radiateurs pour tramways (fig. 1), l'enveloppe métallique A, a une forme allongée et porte sur ses rebords inférieur et supérieur des cannelures ouvertes livrant passage à l'air à travers l'appareil. Le radiateur proprement dit est constitué par trois solénoïdes CC, emprisonnés dans une gaine en

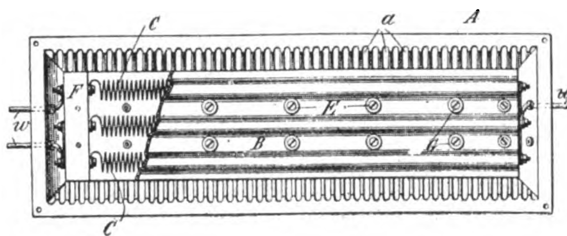


Fig. 1. — Radiateur Gold. Plan.

émail réfractaire dont les deux parties (fig. 2), maintenues par des boulons E, B, G, épousent les formes des spires. L'extrémité de chacune

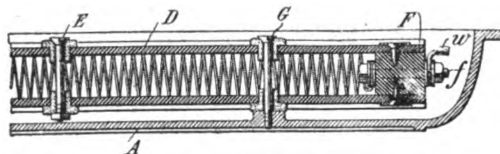


Fig. 2. — Radiateur Gold. Coupe longitudinale.

de ces dernières est reliée à un écrou-borne *f* traversant les plaques de fermeture F; cet écrou reçoit à l'extérieur le conducteur *w* venant de la source. Les connexions sont établies comme l'indique le schéma de la figure 3.

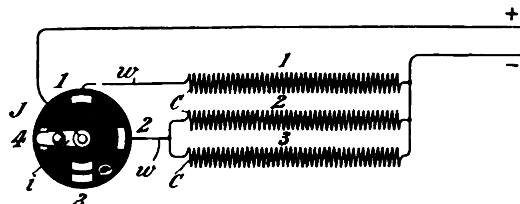


Fig. 3. — Radiateur Gold. Schéma.

Quand la manette *i* du commutateur J occupe le plot 1, une seule des spires est dans le circuit; si on la pousse en 2, la première se trouve supprimée et remplacée par les deux autres en parallèle ; enfin au plot 3, toutes les spires sont dans le circuit.

La pose des appareils n'exige aucune disposition spéciale ; ils peuvent être placés directement sur les banquettes de la voiture simplement avec interposition d'une feuille d'amiante. On peut, en outre, relier plusieurs radiateurs semblables en série comme l'indique le schéma de la figure 4.

(1) Ces formules semblent donner des températures inférieures à la réalité.

(2) Brevet anglais, n° 7318 ; 31 décembre 1896. — 13 figures.

Les radiateurs pour appartements ou salles de grandes dimensions sont construits dans

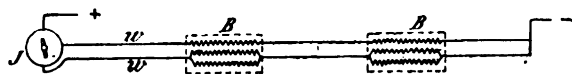


Fig. 4. — Radiateur Gold. Montage en série.

les mêmes conditions que les précédents; ils sont moins longs de forme et renferment 6 spires de fils (fig. 5) que l'on peut mettre

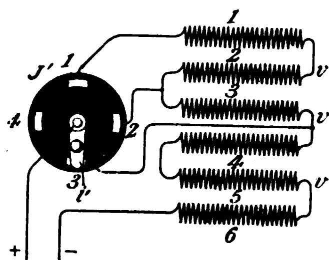


Fig. 5. — Radiateur Gold. Grand modèle.

ensemble ou par groupes de 3 ou 4 dans le circuit, suivant la position que l'on donne à la manette i' de J'. L. D.

Tramway à contact électromagnétique, système E.-H. Johnson et R. Lundell (1896).

La voiture du tramway porte une batterie B composée d'un nombre d'éléments tel que sa force électromotrice soit sensiblement égale, quoique inférieure, à la tension de distribution; la capacité de cette batterie est suffisante pour assurer l'entraînement de la voiture sur un faible parcours, comme dans les voitures du système mixte. La voiture porte à sa partie inférieure deux barres ou patins de contact comme dans le système Westinghouse. L'une d'elles, p_1 est reliée au circuit des moteurs M et du contrôleur c; la batterie d'accumulateurs B est montée en dérivation entre le contrôleur et le circuit de retour par l'intermédiaire des roues R; le patin p_1 frotte sur les pavés de contact P_1, P_3,... P_7 qui sont disposés à fleur de terre parallèlement à l'axe de la voie; chacun des pavés P^1... P^7 est relié, comme l'indique la figure 1, à l'enroulement de deux électro-aimants consécutifs placés sous terre, tels que E_1 et E_2, E_2 et E_3, etc., et de là à la terre par les rails. Lorsqu'un de ces électros est animé, il attire son armature qui, par un levier L, réunit les deux contacts en charbon D, ce qui établit la communication entre le câble distributeur F et le pavé de contact correspondant, tel que P_3; tous ces pavés collecteurs P_1, P_7... P_2, sont disposés sur une rangée parallèle à celle des premiers, P_4... P_8, et à mi-intervalle de ceux-ci; la seconde barre de contact p_2 portée par la voiture vient frotter sur eux; elle est réunie à la seconde borne du contrôleur. La longueur de ces barres est un peu supérieure à la distance qui sépare deux boutons de contacts successifs d'une même rangée.

Le fonctionnement de ce système se comprend sans peine :

Lorsque, la voiture étant au repos, on ferme le contrôleur e, le courant de la batterie passant par c, M, p_1, P_3, l'enroulement de E_2, l'enroulement de E_3, les rails r et la roue R, anime les électros E_2 et E_3 qui attirent leurs armatures. Le courant principal venant de FF, passe alors par D_2, P_4, p_2, c, M, p_1, P_3, E_2, E_3, pour faire retour par les rails; la voiture se met alors en marche; les électros sont aimantés par le courant principal, ce qui assure une puissante attraction; en outre, la batterie B étant montée en dérivation entre c et le circuit de retour est rechargée par ce même courant. Si la voiture se dirige de droite à gauche, la barre de contact p_2 viendra toucher le bouton P_6 avant que P_3 ne soit venu en contact avec P_5 et ait pu animer le groupe des deux électros suivants E_3 et E_4, mais comme E_3 est déjà aimanté par suite de l'intercommunication des enroulements inducteurs déjà mentionnés, le plot P_6 est en communication avec la source, en sorte qu'il n'y a pas d'interruption dans l'alimentation des moteurs. Si la voiture se dirige en sens inverse, le patin p_1 viendra en contact avec P_1 avant que p_2 ait quitté P_4, et animera l'électro E_1, ce qui mettra le pavé P_2

en communication avec la source. L'alimentation continue des moteurs sera ainsi assurée, soit dans la marche en avant, soit dans la marche en arrière.

Comme trois pavés consécutifs sont susceptibles d'être électrisés à un moment donné, il faut, pour la sécurité, que l'espacement des pavés de contact soit tel que la voiture

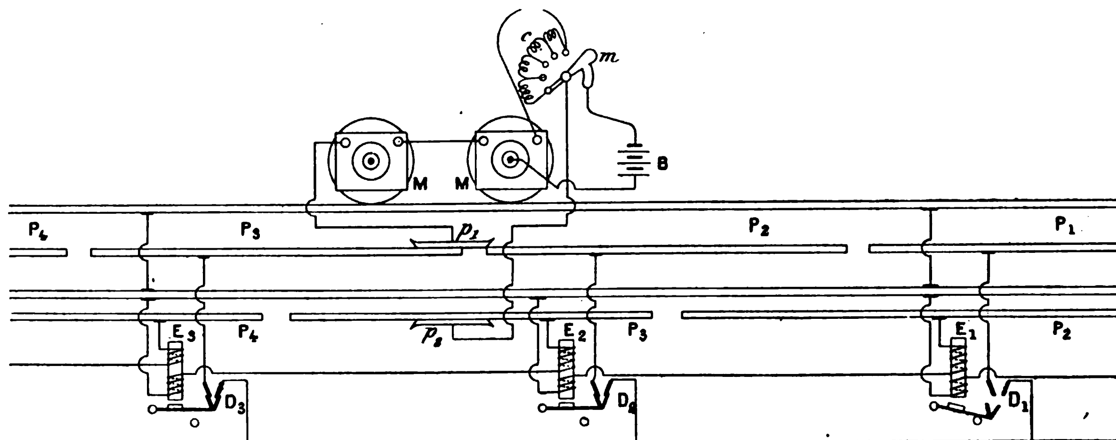


Fig. 1. — Tramways à contacts superficiels, système Johnson et Lundell.

recouvre toujours trois pavés consécutifs d'une même rangée.

Dans l'application aux chemins de fer, (fig. 2) les pavés de contact sont remplacés

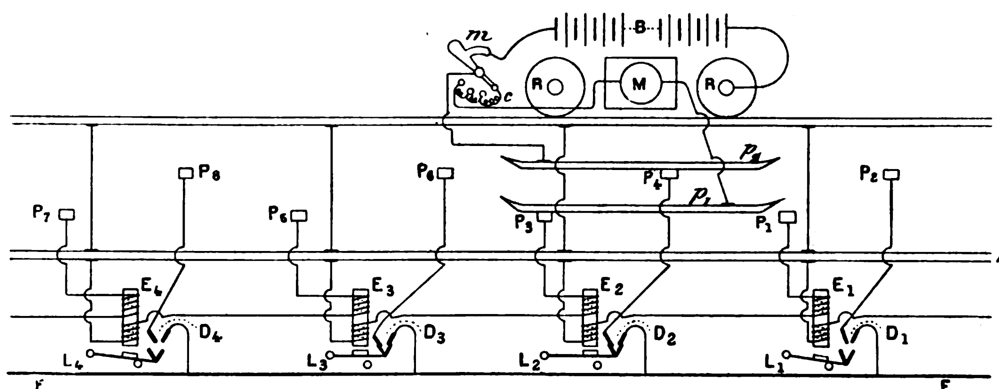


Fig. 2. — Chemin de fer à rail sectionné, système Johnson et Lundell.

par des rails sectionnés et les patins de contacts remplacés par des sabots; le rail d'alimentation est extérieur à la voie ; en outre, la batterie d'accumulateurs est réduite à quelques éléments, car il serait impossible de songer à transporter sans cesse une batterie suffisante pour assurer la traction ; son poids serait trop considérable. Dans cette application, par suite des grandes vitesses envisagées et de la paresse des électro-aimants, l'intercommunication des enroulements inducteurs consécutifs est indispensable pour assurer l'alimentation continue des moteurs.

G. P.

Appareil pour la démonstration de la différence de phase ;

Par Louis Derr [1].

L'appareil imaginé par M. Louis Derr pour montrer à un auditoire la différence de phase

---

[1] Mémoire lu à la *Society of arts* de Boston. Voir *Electrical Review* de New-York du 20 janvier.

existant entre deux courants de même période repose sur l'action d'un électro-aimant sur un courant placé dans une direction perpendiculaire aux lignes de forces.

Un puissant électro-aimant est disposé sur un socle en pierre et un fil de cuivre est tendu entre les pôles de cet électro. L'extrémité supérieure du fil est prise dans les mâchoires d'une petite charnière métallique sur la partie mobile de laquelle un petit miroir est fixé. Les vibrations du fil résultant de l'emploi d'un courant alternatif sont observées au moyen d'un faisceau de lumière réfléchi sur le miroir dont la petite charnière empêche tout déplacement latéral et tout mouvement de torsion.

L'extrémité inférieure du fil est fixée dans un dispositif de réglage qui permet de tendre le fil plus ou moins tout en pouvant lui imprimer une légère torsion de façon à régler la position du miroir.

Le fil est tendu jusqu'à ce que sa période de vibration propre soit la même que celle du courant qui le traverse, le fil est alors animé de vibrations d'amplitude assez large et donnant un son très distinct. Le rayon réfléchi sur le miroir se déplace alors sur une ligne verticale où il laisse une trainée lumineuse plus ou moins longue.

Si l'on dispose alors sur le trajet des rayons réfléchis un miroir tournant autour d'un axe vertical le pinceau lumineux tracera sur un écran une courbe parfaitement sinusoïdale dont les ondes représentent les vibrations du fil. La figure 1 montre la disposition des miroirs lorsque l'on emploie deux fils.

Pour mesurer la différence de phase entre deux courants, on règle d'abord les miroirs des fils de façon à ce que les images formées sur l'écran par les rayons réfléchis coïncident. Si l'on envoie ensuite les courants dans les deux fils, les droites lumineuses devront coïncider également en direction; en plaçant finalement le miroir tournant, les sinusoïdes représentant les vibrations apparaîtront décalées d'une quantité de plus en plus grande en avant et en arrière suivant que les courants sont eux-mêmes décalés plus ou moins en avant ou en arrière.

Pour montrer le décalage entre les différences de potentiel aux bornes d'un circuit

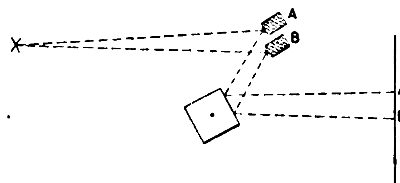


Fig. 1.

inductif et le courant qui le traverse on dispose l'un des fils en série avec une résistance non inductive aux bornes du circuit inductif qui comprend l'autre fil. Si le courant traversant ce dernier circuit est trop intense on peut shunter le second fil par une résistance morte.

Pour montrer l'influence de la self-induction et de la capacité dans un circuit l'auteur adopte la disposition représentée sur la

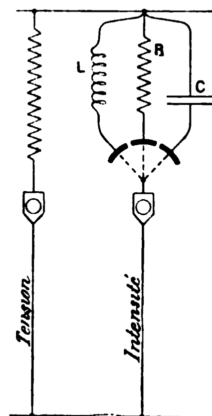


Fig. 2.

figure 2 où un commutateur permet de faire passer le courant à travers l'un des fils et une résistance inductive, ou une résistance sans induction, ou un circuit présentant de la capacité, l'autre fil étant toujours en série avec une résistance morte de façon à ce que ses oscillations représentent celles de la différence de potentiel aux bornes.

Pour plus de clarté dans l'expérience on peut colorer la courbe de la tension en faisant passer les rayons incidents ou réfléchis correspondants à travers un verre coloré.

Avec un courant de 1 ampère et un faisceau réfléchi d'une longueur de 10 m environ la sinusoïde inscrite sur l'écran a une amplitude égale à 60 cm environ.

Le dispositif de M. Louis Derr n'a évidemment pas la prétention de permettre une mesure exacte de la différence de phase ; toutefois si les courants sont sinusoïdaux ses indications sont assez concordantes. J. R.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur l'influence du magnétisme sur la nature de la lumière émise par une substance ;

Par P. Zeeman [1].

Il y a quelques années, au cours d'expériences sur le phénomène de Kerr, M. Zeeman fut conduit à rechercher si la nature des radiations émises par une flamme se trouve modifiée par un champ magnétique. Une expérience improvisée lui donna un résultat négatif, mais son attention ayant de nouveau été appelée sur cette question par la lecture d'un passage des *Collected Works* (t. II, p. 790) de Maxwell où il est dit que déjà en 1862 Faraday avait cherché à déceler, sans plus de succès d'ailleurs, l'influence d'un champ magnétique sur le spectre d'une flamme, il entreprit de nouvelles expériences qui lui donnèrent des résultats positifs. En voici la description littérale :

« 2. Le champ magnétique était produit par un électro-aimant de Ruhmkorff de moyenne grandeur. L'intensité du courant d'excitation, fourni par une batterie d'accumulateurs, était dans la plupart des cas de 27 ampères et pouvait être élevée jusqu'à 35 ampères. La lumière était analysée par un réseau de Rowland de 304 cm de rayon et portant 5881 traits par centimètre. Le premier spectre était utilisé et observé avec un oculaire à micromètre avec fil de réticule vertical. Une fente de largeur variable était placée près de la source lumière.

» 3. Entre les pièces polaires, de forme paraboloïdale, de l'électro-aimant on plaçait la partie centrale de la flamme d'un brûleur Bunsen dans laquelle on disposait un morceau d'amiante imprégné de sel marin; on obtenait ainsi les deux raies D du sodium se détachant nettement sur fond noir. La distance des pièces polaires étant de 7 mm, la mise en circuit de l'électro produisait un élargissement des raies; celles-ci revenaient à leurs dimensions et positions primitives quand on coupait le courant; l'un et l'autre effet étaient instantanés et l'expérience pouvait être répétée un nombre infini de fois.

» 4. La flamme du brûleur Bunsen était ensuite remplacée par celle d'un chalumeau à gaz et à oxygène, contenant comme précédemment un morceau d'amiante imprégné de sel marin et s'élevant verticalement entre les pièces polaires. Lorsqu'on lançait le courant les raies D s'élargissaient, leurs largeurs devenant trois ou quatre fois plus grandes.

» 5. On observait un phénomène analogue avec les raies rouges du lithium, obtenues en mettant dans la flamme du carbonate de lithium.

» 6. Les phénomènes indiqués dans les paragraphes précédents peuvent être regardés comme n'ayant pas de conséquence importante. On peut en effet raisonner de la manière suivante : l'accroissement de la densité et l'élévation de la température d'une vapeur incandescente produisent un élargissement des lignes du spectre de cette vapeur [1]; or, sous l'influence du champ magnétique le contour de la flamme change (comme il est facile de le voir) et il est possible que ce changement soit accompagné d'une variation de la densité et de la température; de là une explication des phénomènes observés.

» 7. L'expérience suivante n'est pas aussi facilement explicable. Un tube de porcelaine,

[1] *Philosophical Magazine*, t. XLIII, p. 226, mars 1897.

[1] Pringsheim, *Wiedemann's Annalen*, t. XLV, p. 457, 1892.

verni intérieurement et extérieurement est placé horizontalement entre les pièces polaires, son axe étant perpendiculaire à la ligne joignant les pôles. Le diamètre interne du tube est de 18 mm; son diamètre externe de 22 mm; sa longueur de 15 cm. A ses extrémités sont vissées des bonnettes métalliques, fermées par des glaces à faces parallèles entourées d'une enveloppe permettant, au moyen d'un courant d'eau entre les enveloppes et la bonnette, de maintenir froides ces extrémités, quoique le milieu du tube puisse être chauffé au rouge, sur une longueur de 8 cm. La lumière d'une lampe à arc, placée à environ 2 m de l'électro-aimant pour éviter son action perturbatrice sur l'arc, est renvoyée suivant l'axe du tube au moyen d'un miroir métallique et reçue sur le réseau. Au moyen du micromètre on repère les raies D, ce qui peut être fait avec une grande précision, car souvent au milieu de ces raies brillantes on aperçoit en même temps ces raies renversées. On introduit alors un morceau de sodium dans le tube et l'on chauffe celui-ci. Une vapeur violette ne tarde pas à le remplir; cette vapeur devient ensuite bleue, puis grise et enfin incolore. L'absorption diminue à mesure que la température s'élève; cette absorption est principalement grande dans le voisinage des raies D et enfin les deux raies noires D deviennent visibles. On rapproche du tube les pièces polaires de l'électro-aimant, la distance de celles-ci étant alors de 24 mm. Les raies d'absorption sont bien délimitées sur la plus grande partie de leur longueur; elles sont plus épaisses à la partie supérieure, qui correspond à la portion inférieure du spectre et par suite à la région du tube où les vapeurs sont le plus denses. Immédiatement après l'excitation ces raies *s'élargissent* et paraissent *plus noires;* si le courant est rompu elles reprennent leur aspect primitif. L'expérience peut être répétée plusieurs fois, jusqu'à ce que le sodium ait disparu. Cette disparition du sodium devant être principalement attribuée à une action chimique sur le vernis du tube, il convenait de prendre, dans de nouvelles expériences, un tube non verni.

» 8. On pourrait peut-être expliquer cette dernière expérience comme il suit : La température du tube n'est pas uniforme; de plus il résulte de la forme des raies D (§ 7) que la densité de la vapeur de sodium n'est pas la même à différentes hauteurs. Par conséquent, il y a certainement des courants de convection causés par la différence des températures des parties supérieures et inférieures du tube. Or, en s'appuyant sur certaines hypothèses fort plausibles, on peut montrer par le calcul que, sous l'action du champ magnétique, il se produit dans le tube des différences de pression du même ordre de grandeur que celles qui résultent de la non-uniformité de la température. La magnétisation peut donc pousser les couches les plus denses de la partie inférieure vers l'axe du tube et causer l'épaississement des raies, car l'épaisseur à une hauteur donnée est principalement déterminée par le nombre de particules incandescentes situées à cette hauteur suivant la direction de l'axe du tube. Quoique cette explication laisse encore subsister quelques difficultés, elle mérite certainement d'être prise en considération.

» 9. Mais cette explication ne peut convenir à la variante suivante de l'expérience. Le tube, non vernissé, a une épaisseur de 1 mm et un diamètre interne de 10 mm. Les pôles de l'électro-aimant peuvent être rapprochés jusqu'à 14 mm l'un de l'autre. Un chalumeau est substitué au brûleur Bunsen et permet de porter le milieu du tube au rouge blanc. L'emploi du chalumeau et la diminution du diamètre du tube rendent plus facile l'obtention d'une température uniforme dans toute une section du tube. Cette température est plus élevée que dans l'expérience précédente et les raies du sodium restent continuellement visibles [1]. On peut maintenant espérer que la densité de la vapeur de sodium est la même à diverses hauteurs, et, d'ailleurs, pour

[1] Pringsheim, *loc. cit.*, p. 456.

mieux réaliser cette condition, je faisais tourner le tube autour de son axe. Les raies d'absorption sont alors également larges du haut en bas. Quand l'électro-aimant est mis en action, ces raies s'élargissent immédiatement sur toute leur longueur. L'explication du § 8 ne peut donc être adoptée.

» 10. J'aurais voulu étudier l'influence du magnétisme sur le spectre d'un solide. L'oxyde d'erbium a, comme l'ont montré Bunsen et Bahr, la remarquable propriété de donner par incandescence un spectre contenant des raies brillantes, mais avec la dispersion que j'employais les bords de ces raies n'étaient pas suffisamment distincts pour que je puisse expérimenter.

» 11. Des diverses expériences décrites dans les paragraphes 3 à 9, il résulte qu'il est très probable que les raies d'absorption, et, par suite aussi, les raies d'émission sont élargies par un champ magnétique. S'il en est réellement ainsi, c'est que, sous l'action du magnétisme sur les vibrations libres des atomes, qui donnent lieu aux spectres de lignes, il se produit des vibrations de périodes différentes se superposant aux premières; du moins, c'est ce qui me semble prouvé par les considérations que j'expose plus loin.

» 12. De l'idée que je me suis faite de la nature des forces agissant sur des atomes situés dans un champ magnétique, il résultait que les phénomènes que j'ai observés avec un spectre de lignes ne doivent pas se produire avec un spectre de bandes.

» Il est cependant très probable que la différence entre un spectre de bandes et un spectre de lignes n'est que qualitative et non quantitative [1]. Dans le cas d'un spectre de bandes, les molécules sont complexes; dans celui d'un spectre de lignes, les molécules ne contiennent qu'un petit nombre d'atomes. Des recherches ultérieures m'ont montré que la représentation que je me suis faite de la cause de l'épaississement d'un spectre de lignes est exacte en général.

» 13. Un tube de verre, fermé à ses extrémités par des glaces à faces parallèles et contenant quelques cristaux d'iode, était placé entre les pôles d'un électro-aimant de Ruhmkorff dans les mêmes conditions que le tube de porcelaine (§ 7); par une légère élévation de température, on volatilise l'iode et le tube se remplit de vapeurs violettes.

» Au moyen de la lumière de l'arc électrique on étudie le spectre d'absorption. Comme la température est relativement basse, on a un spectre de bandes, mais à cause de la grande dispersion dont je disposais, les bandes étaient sillonnées de nombreuses raies fines. Si l'on ferme le circuit de l'électro-aimant, on n'observe *aucun* changement des raies sombres, contrairement à ce que l'on observait avec la vapeur de sodium.

» Le phénomène observé avec le sodium ne se produisant pas avec l'iode, il faut en conclure que dans le premier cas les courants de convection n'avaient aucune influence puisque, dans le cas considéré en dernier lieu, ces courants de convection engendrés par le champ magnétique, que je croyais possibles, sont, d'après l'expérience, insuffisants pour produire un changement dans le spectre, bien que le spectre de bandes soit, comme le spectre de lignes, très sensible aux variations de la densité et de la température.

» 14. Quoique les moyens à ma disposition ne me permissent que des mesures préliminaires approximatives, j'ai pensé qu'il y aurait néanmoins intérêt à mesurer approximativement l'altération de la période produite par le champ magétique.

» J'ai trouvé qu'avec un champ magnétique de 10^4 unités C. G. S. l'élargissement des lignes du sodium, d'un côté et de l'autre, était environ de 1/40 de la distance qui les sépare, d'où il résulte que le changement positif et négatif dû au champ est de 1/40 000 de période. »

Dans les paragraphes suivants, l'auteur

[1] Kaiser, dans *Winkelmanns Handbuch*, t. II, p. 421.

expose les idées qui l'ont guidé dans ses recherches et montre que le changement de période observé expérimentalement peut s'expliquer dans la théorie de Lorentz [1], où les phénomènes électriques et lumineux sont attribués à des mouvements des ions. Laissant à M. Poincaré le soin d'exposer et de discuter les considérations de ces paragraphes [2], nous passerons à la fin du paragraphe 19 où l'auteur indique une conclusion vérifiable par l'expérience.

» On peut décomposer le mouvement de l'ion, existant avant l'action du champ magnétique, en un mouvement harmonique rectiligne parallèle à l'axe des z et en deux mouvements circulaires de sens opposés parallèles au plan des xy.

» Sous l'influence du champ magnétique, le premier ne change pas, tandis que les périodes des deux derniers sont altérées.

» Par le réseau les vibrations engendrées par le mouvement des ions se trouvent classées suivant leur période et par conséquent le mouvement d'un ion donnera naissance à trois groupes de vibrations : une ligne du spectre primitif en donnera *trois*. On s'explique donc que cette ligne paraisse s'élargir sous l'influence d'un champ magnétique et l'on peut conclure en outre que ses bords (dus aux mouvements circulaires de l'ion) donneront de la lumière polarisée circulairement [3].

» 20. Une confirmation de cette dernière conséquence peut évidemment être considérée comme une confirmation des idées puisées dans la théorie de Lorentz qui m'ont guidé. Pour élucider ce point, l'électro-aimant du § 2, muni de pièces polaires creuses, était placé de telle sorte que les axes de ses trous soient en ligne droite et rencontrent le centre du réseau. J'observais les lignes du sodium avec un oculaire muni d'un micromètre à fil vertical et entre le réseau et l'oculaire je plaçais une lame quart d'onde et un nicol, dont je m'étais servi antérieurement dans des recherches sur la lumière réfléchie normalement sur un miroir de fer aimanté [1].

» La lame et le nicol étaient disposés de manière à intercepter la lumière polarisée circulairement de gauche à droite. D'après ce qui précède, l'un des bords de la ligne élargie sous l'influence du champ doit émettre de la lumière polarisée dans ce sens tandis que l'autre doit émettre de la lumière polarisée en sens inverse. Par conséquent, si le bord droit est visible à travers l'oculaire pour une position donnée de l'analyseur, un renversement du sens du courant doit rendre visible le bord gauche. Or, le réticule étant placé sur la ligne brillante, on constatait que le renversement du sens du courant déplaçait cette ligne. Cette expérience a été répétée plusieurs fois.

» 21. Une variante de cette expérience consiste à faire tourner l'analyseur sans toucher à la lame quart-d'onde. L'épaisseur de la ligne variait et pour un tour de l'analyseur passait deux fois par un maximum et deux fois par un minimum.

» 22. On faisait tourner l'électro-aimant de 90° à partir de la position indiquée dans le § 20, de manière à ce que les lignes de force soient perpendiculaires à la ligne joignant la fente au réseau. La lumière des bords de la ligne élargie paraissait alors être polarisée rectilignement et, autant que la sensibilité de l'appareil permettait de le voir, le plan de polarisation était perpendiculaire à la ligne du spectre. Ce résultat est d'accord avec les considérations du § 19 : les orbites circulaires des ions étant perpendiculaires aux lignes de force, ces orbites sont vues maintenant suivant leur propre plan.

» 23. Les expériences 20 à 22 peuvent être regardées comme prouvant que les vibrations

(1) LORENTZ, *La théorie électromagnétique de Maxwell*, Leyde 1892.

(2) Voir page 481 de ce numéro.

(3) « J'ai appris depuis que STONEY, (*Trans. Roy. Soc. Dublin*, IV) a cherché à expliquer l'existence des doublets et triplets dans un spectre par la rotation des orbitres elliptiques des « électrons » sous l'influence de forces perturbatrices. »

(1) ZEEMAN, *Communications of the Leyden Laboratory*, n° 15.

lumineuses sont produites par le mouvement d'ions, comme l'a supposé le professeur Lorentz dans sa théorie de l'électricité. Des nombres obtenus dans la mesure de l'élargissement des raies (§ 14) et des équations de Lorentz, on peut déduire que le rapport $\frac{e}{m}$ de la charge e d'un ion en unités électromagnétiques à sa masse m est de l'ordre 10 μ, mais ce résultat ne doit être considéré que comme approximatif.

» 24. L'expérience du § 20 permet de reconnaître si ce sont les ions positifs ou les ions négatifs qui tournent. En effet, si les lignes de force sont dirigées vers le réseau, les rayons circulaires droits paraissent avoir la plus petite période; par conséquent les ions positifs sont en mouvement ou tout au moins décrivent la plus grande orbite.

» 25. Il serait particulièrement intéressant de poursuivre cette interprétation par la théorie de Lorentz, de l'influence du magnétisme sur les raies du spectre. Une série de questions se présentent d'elles-mêmes : étudier le mouvement des ions pour différentes substances dans des conditions variées de température, de pression et d'intensité de champ magnétique; rechercher jusqu'à quel point les champs magnétiques intenses qui, suivant quelques-uns, agissent à la surface du soleil, peuvent modifier le spectre de cet astre.

» Les expériences qui viennent d'être décrites ont été faites au Laboratoire de Physique de Leyde; je dois à son directeur, le professeur Kamerling Onnes, une grande reconnaissance pour l'intérêt qu'il a apporté à ces recherches. »

M. Zeeman fait suivre ce mémoire d'une note, écrite un mois après, en février 1897, dans laquelle il donne le passage de la vie de Faraday, du Dr Bence Jones, où se trouvent décrites les expériences faites par Faraday sur le même sujet; il indique ensuite deux travaux antérieurs se rapportant également à l'action du magnétisme sur la lumière, travaux signalés à M. Zeeman à la suite de la publication de ses résultats.

L'un de ces travaux est dû au professeur Tait (1), dont l'attention fut appelée sur ce sujet par une communication de M. Forbes. « L'explication de la rotation du plan de polarisation de la lumière par un diamagnétique transparent exige, comme l'a montré Thomson, une rotation moléculaire du milieu luminifère. Le rayon polarisé rectilignement se décompose, dans le milieu, en deux rayons polarisés circulairement dont l'un tourne avec l'éther de telle sorte que sa période se trouve accélérée tandis que celle de l'autre se ralentit. Supposons que le milieu absorbe une seule radiation de longueur d'onde bien définie : alors — si l'absorption n'est pas modifiée par le champ magnétique — la portion absorbée dans les rayons composants sera, dans l'un, de plus courte période, dans l'autre, de plus longue période que si le champ magnétique n'existait pas; par suite, la simple ligne d'absorption primitive devra devenir une double ligne dont chaque composante sera moins noire que la ligne primitive. » Mais les expériences faites pour vérifier cette idée ne donnèrent aucun résultat.

Le second travail est de M. Fievez (2). L'auteur ne s'est pas occupé des raies d'absorption; il observait les raies données par une flamme placée dans un champ magnétique puissant, et constata « un double renversement (c'est-à-dire l'apparition d'une raie brillante au milieu de la raie noire élargie) ». M. Zeeman croit que ce phénomène est dû à une action secondaire du champ magnétique sur la température de la flamme et se propose d'élucider ce point. J. B.

(1) TAIT. Sur une influence possible du magnétisme sur l'absorption de la lumière et sur quelques sujets corrélatifs, *Proc. Roy. Soc. of Edinburgh*, session 1875-1876, p. 118.

(2) FIEVEZ. De l'influence du magnétisme sur les caractères des raies spectrales, *Bulletin de l'Acad. des Sciences de Belgique*, 3e série, t. IX, p. 381, 1885; Essai sur l'origine des raies de Frauenhofer, en rapport avec la constitution du soleil, *Idem*, t. XII, p. 30, 1886.

Sur la polarisation partielle des radiations émises par quelques sources lumineuses, sous l'influence du champ magnétique ;

Par N. Egoroff et N. Georgiewsky [1].

« Depuis quelques mois, M. le Dr Zeeman, à l'Université de Leyde, a fait de très remarquables expériences relatives à l'influence d'un champ magnétique assez fort, sur l'émission de flammes dans un brûleur de Bunsen (sodium et lithium). Il a démontré que les perturbations éprouvées par les ions sous l'influence des forces magnétiques produisent de nouvelles périodes de vibrations lumineuses (l'élargissement des raies spectrales du sodium et du lithium). Ensuite M. Zeeman, conduit par les vues théoriques de M. le professeur Lorentz, a démontré aussi la polarisation particulière de ces nouvelles vibrations.

» En répétant l'expérience principale de M. Zeeman, avec la flamme de sodium, au laboratoire de physique de l'Académie impériale de médecine de Saint-Pétersbourg, à l'aide d'un réseau plan de Rowland et d'un électro-aimant de Ruhmkorff, nous avons aperçu, malgré la petite distance interpolaire (7 mm à 10 mm) et l'aimantation presque saturée (intensité du courant, 20 ampères), un très faible élargissement des raies D_1 et D_2 dans le spectre de radiations axiales, ainsi que de radiations équatoriales.

» Certainement il serait très intéressant de combiner des conditions expérimentales plus faciles que celles du procédé de M. Zeeman pour démontrer d'une manière décisive la remarquable influence du champ magnétique sur les flammes colorées.

» Ayant en vue le résultat général des expériences de M. Zeeman, à savoir, l'apparition dans les flammes colorées de rayons polarisés, nous avons entrepris l'observation directe (sans spectroscope à réseau) de la polarisation partielle d'émission, produite dans quelques sources lumineuses par le champ magnétique.

» Nous avons fait ces observations à l'aide des méthodes employées ordinairement pour l'analyse de la lumière partiellement polarisée.

» L'analyseur de Savart était le mieux approprié pour démontrer la polarisation particulière des flammes colorées dans le champ magnétique.

» La polarisation rectiligne partielle des rayons dirigés dans l'équateur du champ magnétique était facilement observée, non seulement dans les flammes du sodium, du lithium et du potassium, même avec une distance polaire de 100 mm, mais aussi bien dans les étincelles d'induction entre des électrodes de magnésium.

» Les expériences avec les étincelles entre les électrodes de charbon, d'aluminium, de mercure, de zinc, de bismuth, de fer, n'ont pas montré dans l'analyseur de Savart même des signes de la polarisation rectiligne. La polarisation elliptique partielle des rayons envoyés obliquement à l'équateur du champ était déterminée aussi facilement avec l'analyseur de Savart, additionné d'une lame de 1/4 d'onde.

» Nous continuons nos recherches sur la polarisation particulière des sources lumineuses, placées dans le champ magnétique, et nous aurons l'honneur de présenter les résultats détaillés à la haute attention de l'Académie dans une note prochaine. »

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 748, séance du 5 avril 1897.

Sur la polarisation partielle des radiations émises par quelques sources lumineuses sous l'influence du champ magnétique ;

Par N. Egoroff et N. Georgiewsky [1]

« Dans la premère Note, présentée à l'Académie le 5 avril, nous avons décrit la méthode d'observation de la polarisation partielle d'émission de flammes et d'étincelles sous

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 949, séance du 3 mai 1897.

l'influence du champ magnétique assez modéré [le brûleur Bunsen à sodium démontre la polarisation, quand il se trouve entre les pôles magnétiques de Ruhmkorff à distance de 100 mm, correspondante à l'intensité du champ, 500 [1]].

» En continuant nos recherches nous avons trouvé les faits suivants :

» 1. Le compensateur Babinet démontre, comme l'analyseur de Savart, aussi facilement la poralisation partielle rectiligne des radiations équatoriales et la polarisation elliptique de signe contraire des radiations inclinées à l'équateur du champ. Les axes des ellipses se confondent. Cette particularité du champ magnétique ne permet pas de découvrir la polarisation circulaire des radiations axiales, sans avoir un spectroscope très dispersif.

» 2. La quantité relative des radiations équatoriales, émises par la flamme du sodium et polarisées rectilignement, varie avec l'intensité du champ magnétique en suivant une courbe particulière (en changeant l'intensité depuis 1800 jusqu'à 8500, nous avons changé la quantité de lumière polarisée entre 2 et 11,5 p. 100). Pour ces mesures nous avons utilisé une ou deux lames de verre (piles de glaces), pour compenser, par réfraction, la polarisation rectiligne des radiations équatoriales.

» 3. Sous l'influence du champ magnétique, ayant une intensité donnée, la quantité de la lumière rectilignement polarisée et émise équatorialement par la flamme du sodium varie avec la température de la flamme.

» 4. Dans la note précédente, nous avons dit que la polarisation partielle se découvre aussi facilement dans les étincelles d'induction entre les électrodes en magnésium, tandis que, avec les électrodes en cuivre, zinc, charbon, etc., elles ne donnèrent directement, à l'analyseur de Savart, aucun signe de polarisation.

» En désirant étudier avec plus de précision l'influence du champ magnétique sur les étincelles de différents métaux, nous avons résolu d'étudier le changement des spectres de ces métaux, à l'intensité du champ de 7500. Pour cela, nous avons employé le spectroscope à vision directe, en regardant le spectre à travers l'analyseur Savart.

» Après réfraction dans les prismes nous avons observé les lignes noires de Savart sur les raies spectrales.

» En compensant suffisamment cette polarisation partielle, produite par réfraction dans les prismes, par la plaque en verre placée en avant de la fente du spectroscope et qui peut être tournée autour d'un axe horizontal, nous pouvions fortement affaiblir les lignes de Savart, en les laissant visibles. Par cette méthode, nous avons espéré découvrir la polarisation rectiligne des radiations équatoriales spectrales sous l'influence du champ magnétique. Les expériences ont vérifié nos vues. Presque tous les métaux employés (Cu, Tl, Zn, Cd, In, Mg, Ca, Ba, Fe) démontrent la polarisation exclusivement dans les raies facilement *renversées*. Le phénomène s'observe d'une manière très instructive pour le cuivre, dans la partie verte du spectre (le changement est fort grand dans la raie 5105, plus faible dans la raie 5153, et nul pour les longueurs d'onde 5217 à 5292). Pour l'indium, le changement avait lieu seulement pour la raie violette 4510, tandis que les autres (6193, 5250, 5900, 4680, 4616 et 4638) n'éprouvaient aucune influence du champ.

» 5. Les raies de l'hydrogène et de l'hélium, dans les tubes de Geissler, ne nous ont pas donné jusqu'à présent de résultats définitifs.

» A la fin de la Note, nous faisons une petite remarque à propos de nos expériences avec la flamme de Drummond, colorée par l'amiante, imbibée de sel ordinaire. Nous pouvions observer plusieurs fois, après la fermeture du circuit de l'électro-aimant, un petit déplacement du fragment d'amiante, corps assez magnétique, dans la flamme; déplacement qui pourrait occasionner les changements de la température du sodium si

(1) L'intensité du champ était mesurée à l'aide d'une spirale graduée de bismuth.

forts et si brusques, que nous avons pu avoir l'aide du réseau plan de Rowland (deuxième spectre), non seulement l'élargissement exceptionnel des raies D_1, D_2, mais même le renversement de celles-ci. Après la rupture du courant, l'amiante reprend instantanément sa place antérieure dans la flamme, et les raies leur aspect primitif. »

VARIÉTÉ

L'Enseignement de l'Électrochimie;

Par HALLER.

Nous croyons devoir attirer l'attention de nos lecteurs sur deux études que M. HALLER, le savant directeur de l'Institut chimique de Nancy, a consacrées à l'industrie chimique et en particulier à l'électrochimie. L'une de ces études vient de paraitre dans la *Revue générale des sciences* (1), l'autre est contenue dans une conférence faite à Nancy, le 31 mars 1897, devant la Société industrielle de l'Est (2).

Après avoir exposé le mouvement commercial des dix dernières années en Allemagne, en Angleterre et en France, l'auteur montre quelles sont, dans notre pays, les causes de déchéance de l'industrie de la chimie organique et à quelles raisons est dû l'essor brillant de la même industrie en Allemagne.

Ce spectacle, loin de nous décourager, doit au contraire nous ouvrir les yeux et nous pousser plus vigoureusement à la lutte. Si dans le vaste domaine de la chimie il se présente de nouveaux sujets d'études (et c'est le cas actuel de la chimie physique et de l'électrochimie) nous devons, instruits par l'exemple du passé, nous engager résolument et rapidement dans ces voies nouvelles, créer de nouveaux enseignements et fonder de nouveaux laboratoires avec le concours des pouvoirs publics, des municipalités, des industriels et de tous ceux qui ont à cœur la prospérité nationale.

(1) T. VIII, p. 226 à 234, 30 mars 1897.

(2) Publiée dans la *Revue industrielle de l'Est* du 4 avril 1897.

Laissons la parole au conférencier :

« Du jour où cet agent merveilleux (l'électricité) fut l'objet d'une attention plus suivie et plus minutieuse, où l'on reconnut sa puissance et la facilité avec laquelle l'énergie électrique se transforme en d'autres modes d'énergie, il fut naturel qu'il devînt un nouvel et fécond instrument entre les mains des chimistes. Sans vouloir entrer dans les détails des applications multiples auxquelles l'électricité a donné lieu dans le domaine qui nous occupe, je me permettrai cependant de mettre sous vos yeux quelques exemples.

L'énergie électrique est utilisée dans ce qu'on appelle l'électrolyse, l'électrométallurgie, l'analyse électrolytique, et, comme agent calorifique, dans les fours électriques.

Électrolyse. — On connaît depuis longtemps ses applications à la galvanoplastie, c'est-à-dire à l'opération qui consiste à se servir du courant électrique pour recouvrir certains objets de couches très minces de métaux plus ou moins précieux : cuivrage, nickelage, argenture, dorure, etc... La fabrication d'immenses tuyaux de cuivre sans soudure, par voie galvanoplastique, est une nouvelle et importante application de l'électrolyse. Dans une seule usine près du Havre, on en fabrique 200 tonnes par semaine, par le procédé Elmore.

L'électrolyse est également appliquée à la métallurgie. Elle a pour but le raffinage d'un grand nombre de métaux que la métallurgie proprement dite ne réussit à fournir que mélangés de 1 à 5 p. 100 de produits étrangers.

Le raffinage le plus connu est celui du cuivre. Il permet d'obtenir un métal tout à fait pur, qualité qui a son importance pour la fabrication des câbles électriques. Plus un cuivre est pur, moins il offre de résistance, et moins il faut d'épaisseur de fil pour un même courant.

Le raffinage, par voie électrolytique, est d'ailleurs également appliqué avec succès au plomb, au zinc, à l'étain et surtout aux métaux précieux. Avec ces derniers, en particulier, on obtient des rendements inconnus jusqu'à ce jour.

Électrométallurgie directe. — L'application de l'électricité à l'extraction directe des métaux de leur minerais est une de celles qui méritent le plus d'attention, et par les résultats déjà acquis, et par ceux qu'on est en droit d'espérer.

Seul, le chimiste connaissant à fond les pro-

priétés des corps et familiarisé avec toutes les réactions de laboratoire, est à même de se rendre compte et de prévoir les combinaisons et les décompositions multiples qui surgissent sous l'action du courant.

Nous ne signalerons que les principaux métaux obtenus par cette voie : le cuivre, l'or, le lithium, l'aluminium, le magnésium, le sodium.

Ces trois derniers métaux ne sont même plus préparés par un autre procédé.

Les perfectionnements, introduits dans leur fabrication, se sont traduits par un abaissement de leur prix tel qu'ils ont pu être employés à des usages inconnus jusqu'alors.

Le sodium, par exemple, tant qu'il fut produit par la méthode de Deville, était presque un métal rare et revenait à des prix exorbitants. Aujourd'hui, grâce au procédé Castner (électrolyse de la soude fondue) exploité en particulier à Neuhausen, près de Schaffouse, en Suisse, le commerce l'achète au prix de 4,50 fr le kilogramme.

L'aluminium, autre métal précieux et rare, il y a quelque trentaine d'années, est devenu d'un usage courant depuis qu'on le produit en grand par les procédés Minet, Héroult, Cowles, Hall, etc., etc.

Un simple aperçu de la production de ce métal, depuis 1891, vous permettra de vous faire une idée des progrès accomplis dans sa fabrication.

En Amérique, la *Pittsburg Reduction Company*, dont l'usine est près du Niagara, retire l'aluminium de la bauxite provenant de la Géorgie. C'est d'ailleurs la seule usine qui produise ce métal aux États-Unis. Voici le résumé de sa production pour les six dernières années ainsi que les prix auxquels se vendait et se vend actuellement le métal.

	Kgr	Fr	Prix moyen du kgr
1891	76 237	630 280	8,267
1892	133 810	958 750	7,165
1893	141 521	1 014 008	7,165
1894	370 857	2 452 800	6,613
1895	408 230	2 475 000	6,062
1896	589 670	2 600 000	4,409

En Europe, les principaux producteurs sont l'Aluminium Industrie Gesellschaft, dont l'usine est établie à Neuhausen, près des chutes du Rhin, à Schaffouse, et la Société électrométallurgique de Froges (Isère) qui a ses usines à Froges et La Praz. Neuhausen a produit, en 1895, 650 tonnes et Froges 100 tonnes environ. La production totale de 1895 a donc été de 1 500 tonnes.

Enfin la *British Aluminium Company*, qui utilise la bauxite de l'Irlande figurera bientôt parmi les sociétés productrices de l'aluminium [1].

La Grande Industrie chimique ne pouvait pas rester étrangère à l'emploi des nouveaux procédés d'électrolyse.

On sait que cette industrie est, en quelque sorte, régie par la production du chlore et celle de la soude.

Le procédé Leblanc permettait d'extraire, du chlorure de sodium, le métal sous la forme de carbonate de soude, et le chlore sous la forme d'acide chlorhydrique. Cet acide devenait la source unique de chlore et, partant, des chlorures décolorants. Ce procédé, nous l'avons déjà dit, dut céder le pas à celui de l'ammoniaque, plus simple, plus élégant, et qui nous met en mesure de préparer le carbonate de soude d'une façon plus économique. Mais, par contre, les réactions mises en jeu ne permettent pas d'obtenir le chlore. Or, ce dernier, joue un rôle prépondérant dans le blanchiment des tissus et, du jour où la source de chlore à bon marché fut tarie, il a fallu chercher un autre moyen de l'isoler.

Parmi les nombreux procédés qui surgirent à la suite de la perturbation apportée dans la grande industrie chimique par le procédé à l'ammoniaque, figure l'électrolyse des chlorures alcalins.

Ici encore les connaissances profondes de chimie générale, si importantes dans l'étude de toute l'électrochimie, sont particulièrement indispensables. L'électrolyse des solutions de chlorure de sodium et de potassium, si simple en apparence, est en réalité extrêmement complexe. Elle ne donne pas lieu à moins de *huit* réactions différentes. Elle ne fournit les produits que l'on désire, qu'en se plaçant exactement dans des conditions déterminées par de longs tâtonnements.

Suivant la température, la concentration des liqueurs, la nature des diaphragmes qui séparent les électrodes, suivant la quantité d'alcali libre qui existe dans le milieu, les produits industriels obtenus sont : le chlore et l'alcali caustique libres, le chlorate ou les hypochlorites décolorants. Nombreux sont les procédés qui ont été brevetés en vue de l'obtention de tel ou tel corps. Il y en a

(1) *Engineering and Mining Journal*. 1896.

dans le nombre qui ont été sanctionnés par l'expérience.

En 1893 déjà [1], la Chemische Fabrik de Griesheim a exposé à Chicago de la potasse et du chlore préparés par voie électrolytique. La même fabrique produit annuellement des quantités notables de soude caustique et de chlore par un procédé tenu secret. Il en est de même de l'usine *Electron* près de Bitterfeld.

MM. Solvay et Cie se proposent également d'exploiter les procédés Castner et Kellner dans une usine fondée près des gisements de Stassfurt.

Les résultats obtenus se font déjà sentir dans le chiffre des échanges auxquels donne lieu le chlorure de chaux en Allemagne.

Importations en tonnes.		Exportations en tonnes.	
1895	1896	1895	1896
12 028	436	3 748	7 448

Ainsi d'une année à l'autre, l'importation a diminué considérablement, tandis que l'exportation a doublé [2].

Quant au chlorate de potasse, il est, pour ainsi dire, produit exclusivement par voie électrolytique. En Europe, ce sont les usines de Vallorbes en Suisse, celles de Saint-Michel-de-Maurienne en Savoie et de Mansbo en Suède, qui le fabriquent par le procédé Gall et Monlaur.

L'Amérique à son tour entre en lice. Tributaire de l'Europe pour beaucoup de produits chimiques et en particulier pour le chlorate de potasse, elle cherche à s'affranchir et utilise les forces naturelles dont elle est si richement desservie.

On sait que la *Niagara Falls Company* a capté actuellement une quantité de force nécessaire à faire marcher trois turbines actionnant trois dynamos de 5 000 chevaux chaque. Elle se propose d'en construire sept autres de la même puissance pour sept nouvelles dynamos, de sorte qu'elle pourra disposer à un moment donné d'une force de 50,000 chevaux.

Elle loue cette énergie à des compagnies qui s'installent dans son voisinage. Parmi celles-ci se trouve la *Chemical Construction Company* [3] qui fabrique actuellement le chlorate de potasse correspondant à une tonne de chlorure de potassium par jour. Elle a en outre l'intention de produire du chlorate de sodium, du baryum et plus tard du chloroforme, de l'iodoforme, etc...

En Suisse, dans les environs de Genève, il est également question de capter une force de 50 000 chevaux en vue de la fabrication du chlore, de la soude, etc... par voie électrolytique.

Outre le chlorate de potasse, l'usine de Vallorbes produit de grandes quantités de persulfate de soude et de persulfate d'ammoniaque qui sont employés dans le blanchiment des tissus.

La chimie organique elle-même, ce domaine si vaste et cependant si particulier de la science, n'a pu se soustraire à l'incursion des méthodes électrolytiques. Appliquées déjà à la préparation industrielle de corps relativement simples, tels que le chloroforme, l'iodoforme, le chloral, les essences de fruits artificielles, les amino-phénols, etc., ces méthodes se prêtent aussi à des réactions plus délicates et nous servent déjà à la préparation de certaines matières colorantes [1] : *fuschine*, *orange direct*. Nul ne peut donc prévoir leur fécondité. Les électrolyses organiques nous promettent une ample moisson de résultats inattendus, si l'on en juge par les quelques fruits récoltés jusqu'à présent.

La chimie proprement dite, n'a mérité le nom de science que du jour où l'on a contrôlé les réactions, la balance à la main. Dans l'électrochimie, le succès ne sera assuré qu'à la condition de joindre l'ampèremètre à la balance, et d'étudier, de très près et simultanément, la densité du courant aux électrodes et la nature des réactions chimiques qui s'y produisent.

Four électrique. — Dans le four électrique nous n'avons plus affaire à l'électrolyse, l'énergie électrique se transforme en chaleur, et cette chaleur étant concentrée dans des espaces clos et relativement restreints, on obtient des températures énormes qu'il était impossible de réaliser jusqu'à présent avec nos moyens actuels de chauffage. Grâce à ces températures, il est facile de provoquer des réactions, des combinaisons, des réductions et d'obtenir des résultats industriels qui, il y a dix ans encore, eussent été considérés comme des chimères.

---

(1) Voir notre rapport sur l'Exposition de l'Industrie chimique à Chicago, p. 39, et l'Industrie chimique, volume paru chez J.-B. Baillière et fils, Paris.

(2) *Chemiker Zeitung*, 1896, p. 99, et 1897, p. 92.

(3) *Zeitschrift für Elektrochemie*, 1897, p. 267.

(1) *Historique de l'Industrie Suisse des matières colorantes artificielles*, par G. F. Jaubert (Genève), p. 7.

Tout le monde connaît la voie nouvelle qui, en France a été ouverte à la science et à l'industrie par les belles recherches de M. Moissan [1]. Si, parmi les résultats obtenus, il en est peu jusqu'à présent qui aient reçu une application, il en est cependant qui sont entrés dans la pratique industrielle.

D'ailleurs, l'idée d'utiliser l'énergie électrique comme source calorifique a jailli presque simultanément dans beaucoup d'esprits.

C'est ainsi qu'Acheson, aux États-Unis, en reproduisant le diamant, découvrit le carborundum ou carbure de silicium, cet abrasif si puissant, préparé jadis par une autre voie, par M. Schutzenberger [2]. Ce carbure est obtenu en chauffant au four électrique un mélange de sable et de charbon et est maintenant employé aux lieu et place de l'émeri et du corindon.

Depuis 1893, époque à laquelle il a fait sa première apparition à l'Exposition de Chicago, sa production n'a fait qu'augmenter, tandis que celle du corindon et de l'émeri est allée en décroissant, comme le montre le tableau suivant [3] :

	1893 tonnes	1893 valeur	1894 tonnes	1894 valeur	1895 tonnes	1895 valeur	1896 tonnes
Carborundum.	8	85000	26	275000	113	339000	600
Corindon émeri.	1727	702945	1220	547500	385	282000	

A mesure que la production du carborundum augmente, son prix diminue. Actuellement le prix de la tonne est d'environ 2 500 fr.

Dans la même année, M. Wilson, aux États-Unis, et M. Moissan, en France, préparèrent au four électrique le carbure de calcium, source de l'acétylène, ce nouveau mais parfois encore dangereux concurrent du gaz de l'éclairage. Nous n'insisterons pas sur les avantages et les inconvénients de ce mode d'éclairage, notre collègue M. Guntz vous ayant exposé, dans sa savante conférence, tout le parti qu'on peut en tirer.

Bien que le procédé n'ait pas encore eu complètement la sanction de la pratique industrielle, nous citerons néanmoins les tentatives faites pour produire le phosphore en réduisant les phosphates mélangés de charbon au moyen du courant électrique. En 1893, L'Electrical construction Company, à Wednesfield prépara journellement par le procédé Parker, Robinson et Readmann, environ 150 kg de ce métalloïde [1].

Ce nouveau mode de production de phosphore, s'il entre réellement dans la pratique, atteindra deux de nos industries les plus anciennes et les plus prospères et qui faisaient surtout de l'exportation. Ce sont les maisons Coignet et Cie, et Jacquand père et fils, A. Coignet, successeur, Lyon.

L'énergie électrique, employée sous la forme d'énergie calorique a encore reçu des applications dans la préparation des bronzes d'aluminium (procédé Cowles) et sert à obtenir les ferrochromes, les ferro-silicium, les ferro-manganèses [2], etc...

Arrivera-t-elle à s'introniser dans la métallurgie de la plupart des métaux et en particulier dans celle du fer? Bien téméraire est celui qui voudrait répondre à cette question par la négative! Tout dépend des conditions dans lesquelles se trouveront certaines mines. Si elles sont situées dans des régions dépourvues de combustibles, ou bien si les minerais ne peuvent être réduits par les procédés ordinaires, il est évident que l'application de l'électricité s'impose.

Cette exposition succincte que nous venons de faire du rôle que joue l'électricité dans l'industrie chimique suffit, je l'espère, pour vous faire comprendre toute l'importance que peut avoir, dans l'avenir, cette source d'énergie. Elle suffit aussi pour nous montrer que cette partie de la science a non seulement droit de cité dans notre enseignement chimique, mais qu'elle exige ses locaux, ses installations spéciales.

L'électrochimie est un chapitre de la chimie générale aussi bien que la métallurgie. Pour le chimiste, l'énergie électrique est un moyen et non un but. Il n'a pas plus a s'occuper de l'étude de l'agent électrique en lui-même qu'il n'étudie l'agent chaleur ou l'agent lumière.

Ce qui lui est seul nécessaire, c'est de connaître le maniement des machines dynamo-électriques, des accumulateurs, du four électrique, au même titre que la balance, le polarimètre.

(1) M. Moissan vient de réunir dans un volume paru chez Steinheil, éditeur à Paris, toutes ses recherches faites à l'aide du four électrique.

(2) Voir notre rapport sur l'Industrie chimique, Chicago, p. 208.

(3) *The Mineral Industry*, par R. P. Rothwell, New-York, 1895.

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1893, p. 144.

(2) Brevet Heibling *Chem. Zeit.*, 1897, p. 160.

Bien qu'en France nos savants ne soient pas restés étrangers à la chimie physique et à l'électrochimie, et qu'ils aient contribué pour une très large part à leur progrès, non seulement il n'existe pas de laboratoires spéciaux ni d'instituts destinés à donner asile à ces sciences, mais, dans la plupart des Universités, ce chapitre de la chimie n'est même pas enseigné.

Il en est tout autrement en Allemagne et en Angleterre.

Dans ce dernier pays, c'est à l'initiative privée que Londres doit le plus beau laboratoire qui existe actuellement pour cette partie de la science, M. Mond, le grand industriel, connu non seulement par l'étendue et la puissance de ses usines qui produisent annuellement près de 200 000 tonnes de soude par le procédé Solway, mais encore par ses belles recherches sur le nickel-carbonyle et ses applications, a monté à ses frais un laboratoire de chimie physique auquel il consacre 2 500 000 fr. Ce laboratoire, ouvert gratuitement à tous ceux qui sont capables de mener à bonne fin un travail, est exclusivement consacré à la recherche et est unique dans son genre.

On connaît la disposition des esprits en Allemagne à l'égard de l'enseignement et de son utilisation. Dès que, dans le domaine général du savoir, une science nouvelle surgit, se dessine, on la met en mesure de se développer, de progresser, de façon à lui permettre de fournir un rendement aussi élevé que possible, tant au point de vue théorique qu'au point de vue de l'application.

L'électrochimie était à peine née que, sous la pression de l'opinion publique et des industriels, les gouvernements ont procédé à la création de chaires dans la plupart des universités et des écoles techniques. Le tour des laboratoires n'a pas tardé à venir.

L'université de Leipzig vient d'être dotée de 450 000 fr pour la création d'un institut de chimie physique. Les écoles techniques de Darmstadt et de Carlsruhe, vont consacrer la première 524 000 fr et la seconde 750 000 fr dans le but de construire des instituts de chimie et d'électrochimie.

Le retard apporté dans l'organisation systématique de notre haut enseignement chimique nous a été fort préjudiciable, pour ne pas tenir compte de ce nouvel exemple d'initiative que nous ont donné nos voisins.

Aussi nous avons pensé qu'il est de la plus haute importance pour notre pays, de ne pas assister en indifférent à ces nouvelles créations, et de joindre nos efforts pour introniser à l'Université lorraine ce nouvel et déjà si fécond enseignement.

A peine formé et mûri, notre projet de fonder, à l'Institut chimique, des laboratoires de chimie physique et de l'électrochimie obtint les plus précieux encouragements.

Grâce à l'intervention bienveillante et pleine de sollicitude d'un des avocats les plus distingués et les plus dévoués au haut enseignement à Nancy, M. L. Grillon, grâce au plaidoyer aussi persuasif qu'élevé que M. Marquet, directeur général des usines de Dombasle, a bien voulu faire en faveur de notre projet, MM. Solvay, ont mis avec empressement, à notre disposition une somme de 100 000 fr. Ce don précieux montre quelle conception élevée et judicieuse les généreux donateurs se font du rôle de l'instruction supérieure dans l'éducation nationale et dans l'industrie. L'Université de Nancy leur en est profondément reconnaissante.

Sa reconnaissance s'étend non moins vive au sympathique directeur des Hauts-Fournaux de Pont-à-Mousson, M. Roger, qui, par son chaleureux plaidoyer en faveur de l'Institut chimique, a pu intéresser à notre cause la puissante Société dont il gère les intérêts avec tant de succès. En son nom, M. Roger vient de nous faire don de 10 000 fr.

D'après nos estimations une somme de 400 000 fr est nécessaire pour la construction de laboratoires spacieux qui renfermeront les machines motrices, les dynamos, les fours électriques. les accumulateurs, les cuves électrolytiques, les instruments de mesures indispensables au nouvel enseignement *pratique* d'électrochimie ; sans oublier les appareils nombreux et délicats de *chimie physique*, partie de la chimie dont l'étude est nécessairement corrélative de l'électrochimie. Dans cette somme nous comprenons également l'installation définitive des laboratoires de teinture et d'impression (1).

Tout en jouissant des bienfaits de la science, des esprits confinés par goût et par éducation dans des domaines étrangers à cette science, ne manqueront pas de trouver qu'elle a des appétits à nulle autre pareille, qu'elle est insatiable.

Ceux-là, pour ne pas sortir de notre sujet, nous les renvoyons à ce que nous avons dit de la lutte

(1) Nous apprenons que les dons faits à l'Institut chimique de Nancy s'élèvent actuellement à plus de 170 000 fr.

qui s'est engagée entre l'industrie de l'alizarine et la culture de la garance.

Toutes les digues que l'on essaiera d'opposer aux flots, lentement mais progressivement envahissants de la science, seront fatalement et irrémédiablement rompues.

Nous engagerons aussi ces esprits timides à jeter un regard sur les efforts qui se font à l'étranger et particulièrement en Allemagne. Ils trouveront alors que notre haut enseignement est bien modeste, quand ils apprendront que, seule, l'Université de Strasbourg, notre rivale la plus rapprochée, a dépensé, depuis 25 ans, plus de 17000000 fr pour la construction de ses laboratoires et de ses instituts.

Et quand ils sauront, qu'en Amérique, la plupart des universités ont été fondées et entretenues avec des subventions, des donations particulières, qui s'élèvent actuellement à 58000000 fr pour celle de Chicago, à plus de 60000000 fr pour celle de Cambridge, près de Boston, et qui atteindront un jour 200000000 fr pour l'Université Leland Stanford, en Californie, leur étonnement sera teinté d'inquiétude.

La science est une coquette très exigeante et très onéreuse, mais elle ne demande pas de palais, de temples pour l'abriter. En fait d'architecture, le style usine lui suffit.

Il lui faut surtout de l'espace, de l'air et de la lumière. Elle demande, en outre, une fidélité à toute épreuve et un culte de tous les instants.

Si la création récente de nos quinze universités disséminées sur notre territoire a été, vu nos ressources budgétaires, une erreur, nous dirons plus, une très grande faute, il faut reconnaitre qu'elle constitue un premier pas vers la décentralisation intellectuelle. Il adviendra de cette décentralisation ce que nous voulons qu'il en soit. Ce n'est pas en faisant de beaux discours sur les effets désastreux de la centralisation à outrance, surtout quand ces effets oratoires ont pour unique théâtre la capitale, que l'on arrivera à un résultat.

C'est par des actes, par des efforts continus, par une collaboration et une mise en œuvre de toutes les forces matérielles et intellectuelles d'une région, que l'on pourra s'affranchir de cette tutelle si stérilisante pour nos esprits, et qui a été et est encore si fatale pour l'évolution du savoir et des idées.

C'est aux universités régionales qu'incombe le devoir de former ses hommes de loi, ses ingénieurs, ses médecins, ses chimistes, ses professeurs. Comme le pressentait et souhaitait éloquemment Jules Ferry, « notre haut enseignement s'inspirera des idées propres à chaque région dans la variété que comporte l'unité du pays ».

. . . .

L'attention du monde chimique allemand se porte d'une façon particulière sur la chimie physique et l'une de ses branches : l'électrochimie.

La chimie physique n'est pas une science à limites bien déterminées : elle côtoie les deux sciences expérimentales par excellence et leur sert en quelque sorte de trait d'union. Elle met au service de la chimie des méthodes empruntées à son émule, lui ouvre des horizons nouveaux et les résultats qu'elle obtient jettent parfois une lumière inattendue sur certains phénomènes du ressort exclusif de la physique.

Née en France, — car Berthollet en est bien le père, comme l'a dit excellemment M. Mond [1] dans son remarquable discours sur l'évolution de la grande industrie chimique depuis le commencement du siècle, — nos savants les plus éminents n'ont pas cessé de contribuer à élargir son domaine et à l'enrichir de données nouvelles. Depuis de longues années, elle a pris droit de cité dans les universités allemandes, possède ses chaires et est en train de se voir élever des laboratoires spéciaux, même des grands instituts.

L'électrochimie constituant une branche de la chimie physique, il n'y a pas lieu de s'étonner que dans ces créations elle ait sa large part. Personne n'ignore, d'ailleurs, l'importance qu'elle a prise dans ces dernières années, tant au point de vue théorique qu'au point de vue de ses applications. Nulle science en ce siècle n'a progressé avec autant de rapidité que cette branche de la physico-chimie. Nulle ne suscite encore autant d'espérances. Aussi dès 1894, le gouvernement prussien a-t-il été sollicité en pleines chambres à l'effet de créer des chaires d'électrochimie dans toutes les écoles techniques du royaume. Comme toujours, cet appel n'a pas été fait en vain, et, en 1895, les écoles polytechniques d'Aix-la-Chapelle, de Berlin et de Hanovre ont été pourvues des enseignements demandés. Comme toujours aussi, les États voisins ont suivi l'exemple de la Prusse.

La création de laboratoires spéciaux, d'instituts n'a pas tardé à suivre celle des chaires.

---

(1) *Journal of the Society of Chem. Industry*, 1896, t. XV.

C'est Gœttingue qui a inauguré le premier de ces *instituts de chimie physique* et *d'électrochimie* [1]. Le gouvernement prussien y a consacré 206 250 fr. A peine ouvert, il a été fréquenté par 30 élèves. Le personnel enseignant se compose de M. le professeur Nernst, de deux agrégés et de deux assistants.

Le programme comprend, outre les leçons sur les différents chapitres de la chimie physique et de l'électrochimie :

1° Des manipulations sur la thermochimie, la physique moléculaire, les équilibres chimiques, etc., etc. ;

2° Des exercices électro-analytiques avec application de la force électromotrice pour la séparation des métaux ;

3° Des préparations par voie électrochimique (carbure de calcium, persulfates, zinc électrolytique, etc.).

Le second est en voie de construction à l'Université de Leipzig et sera placé sous la direction de M. le professeur Ostwald, un des savants les plus autorisés en fait de chimie physique. Comme il est dit plus haut la Saxe n'y consacrera pas moins de 450 000 fr., non compris l'emplacement.

Il n'y a pas que les gouvernements des différents États de l'Empire qui témoignent leur sollicitude à l'égard des établissements d'enseignement supérieur. Le public s'y intéresse non moins vivement en les comblant de donations. En moins de neuf ans, de 1885 à 1894, l'Université de Berlin seule a reçu environ 2 221 362 fr, dont les intérêts sont destinés à être distribués en bourse aux étudiants nécessiteux, à encourager les travaux originaux, à permettre soit à de jeunes docteurs, soit à des agrégés, de faire des voyages d'études, etc.

. . . .

Nous voyons avec quelle continuité avec quelle persévérante sollicitude, avec quel discernement judicieux, pouvoirs publics, industriels et savants veillent et s'associent, en Allemagne, pour garder au haut enseignement cette suprématie qu'il a conquise dans le monde des nations civilisées. Chez nul autre peuple, si ce n'est en Suisse et aux États-Unis, mais ici avec un esprit tout différent, cette union n'est aussi intime qu'en Allemagne. Chez nul autre peuple elle n'a conduit à des résultats aussi féconds pour la gloire et la richesse nationales. Les esprits y sont sans cesse en éveil pour suivre la science dans ses étapes successives, et, quand, dans son domaine si varié, il se produit une différenciation nouvelle dont les termes puissent être l'objet d'une culture, d'un enseignement spécial, on s'empresse de créer ce dernier, de le doter de laboratoires, d'instituts, pour lui permettre de s'épanouir et de fournir matière à des recherches nouvelles. Tel est le cas, nous le répétons, de la chimie physique et de l'électrochimie.

Cette sollicitude pour l'instruction supérieure se traduit encore par une sélection rigoureuse du personnel de savants qui ont la mission de diriger les laboratoires, et par la situation brillante, exempte de soucis, qui leur est faite. Aucune considération d'origine, de parenté et même de nationalité n'entre en ligne de compte pour le choix des professeurs. C'est ainsi que l'Académie des Sciences et l'Université de Berlin viennent de s'adjoindre, dans les conditions les plus brillantes pour l'élu, M. le professeur Van't Hoff, d'Amsterdam [1], le savant distingué auquel la chimie physique doit de si belles recherches.

En Angleterre, cette union dont il est question plus haut, est loin d'exister au même degré. D'ailleurs, les pouvoirs publics semblent encore se désintéresser du haut enseignement. Seul, le monde des savants lutte pour la bonne cause et, comme nous l'avons vu, ses manifestations ont trouvé de l'écho parmi quelques industriels.

En France, berceau de la chimie [2], et de la chimie physique, c'est encore l'État qui supporte tout le poids de la direction scientifique et de la dotation de l'enseignement supérieur. Sauf quelques rares exceptions, le public, les industriels ignorent les universités et le rôle qu'elles peuvent être appelées à jouer dans l'éducation nationale.

[1] *Zeitschrift für Electrochemie*, 1895-1896, p. 634.

[1] M. Van't Hoff, ancien élève de Wurtz, a fait une partie de ses études à Paris.

[2] On se rappelle la phrase de Wurtz : *La chimie est une science française*, et les polémiques qu'elle a soulevées. Voici ce que dit, à 23 ans de distance, un des savants les plus autorisés de l'Allemagne, M. le professeur Bunte de Munich : « Dans cette pléiade d'esprits illustres qui firent entrer la chimie dans le cortège des sciences exactes, on voit, entre tous, dominer le grand nom de Lavoisier. Des hommes tels que Berthollet, Guyton, Fourcroy, Chaptal, des mathématiciens comme Monge et Laplace, aussi remarquables par la profondeur de leurs connaissances que par la largeur de leurs conceptions, s'associèrent au génie de Lavoisier et imprimèrent aux débuts de la nouvelle chimie un cachet nettement française. » Wissenschaftlirche Forschung, und chemische Technik. Discours prononcé à l'Ecole Technique de Karlsruhe le 31 octobre 1896.

Ils sont, en général, aussi indifférents au succès de ces écoles qu'à l'enseignement qui s'y donne. Ils ne formulent aucun avis, n'émettent aucun vœu sur la direction qu'il y a lieu de lui imprimer et sur les spécialités qu'il conviendrait d'étudier. Ils ne nous disent pas quel est, dans leur esprit, l'outillage intellectuel dont doivent être munis les collaborateurs que les écoles de haut enseignement leur préparent. Aucun journal de science pure ou appliquée n'est le confident de leurs doléances ou de leurs critiques, comme en Allemagne, où toutes les publications sont mises à contribution à cet effet (¹). Pour toutes ces questions ils s'en remettent à l'État et aux représentants de la science officielle à Paris, Et quand, par hasard, on consulte nos assemblées, elles se livrent à des manifestations oratoires très élevées, dissertent sur le rôle qui incombe à la France dans l'éducation des peuples, écartent les questions vitales et véritablement pratiques et se bornent à émettre des votes sur des choses secondaires. Aussi notre enseignement, par suite de son éparpillement et du défaut de ressources, est incomplet, présente des lacunes regrettables et est mal coordonné.

La *chimie physique*, pour revenir à notre sujet, n'est traitée qu'à la Sorbonne, à Grenoble et à Nancy, où depuis sept ans, sur notre demande, un de nos jeunes maîtres de conférences lui consacre *bénévolement* deux leçons par semaine, en dehors de l'enseignement spécial dont il est chargé officiellement. Quant à l'*électrochimie*, elle n'est, à notre connaissance, enseignée nulle part dans nos Facultés (²). Le savant le plus autorisé, le plus compétent en la matière, celui qui, en France, a fait faire les plus grands progrès à cette science naissante, M. Moissan, est professeur de toxicologie à l'École de pharmacie de Paris!!!

M. Haller termine sa conférence par les considérations générales suivantes :

Nous sommes loin, messieurs, du sujet qui fait l'objet principal de cette conférence. Qu'il nous soit permis, avant de terminer, de résumer brièvement nos idées, sur l'étude de la science et sur son intervention dans l'industrie.

Grâce à la facilité avec laquelle se font les échanges intellectuels aussi bien que les transactions commerciales, grâce aussi aux aptitudes différentes que chaque peuple possède et acquiert par suite des qualités de race, des circonstances climatériques, des conditions d'existence, l'instruction, le savoir avec ses émanations les plus diverses, ne sont plus l'apanage exclusif d'une nation.

Prétendre, de nos jours, qu'un seul peuple puisse conquérir, comme autrefois, ce monopole, cette hégémonie intellectuelle, c'est avoir de singulières illusions.

Toutes les nations concourent actuellement, et suivant leur génie propre, à augmenter le patrimoine scientifique et moral de l'humanité.

Toutes s'ingénient à tirer de ce patrimoine le meilleur profit et pour leur prospérité matérielle et pour leur perfection morale.

Chacune cherche et doit chercher à faire, aussi honorablement que possible, sa partie dans ce concert de l'intelligence et du savoir, sans se bercer de l'espoir chimérique de pouvoir le diriger exclusivement.

Et c'est à celle qui aura les plus profondes traditions de savoir, d'énergie, de vitalité et d'humanité que sera dévolue la plus grande part de bien-être, dans son acception la plus haute et la plus générale.

Nul peuple au monde n'est, pour le moment, aussi riche en nobles traditions que le nôtre ; nul n'est aussi bien doué et ne possède une réserve de savoir et d'intelligence, et une réceptivité aussi puissante que le nôtre.

Malheureusement, nous paraissons vouloir nous endormir sur l'oreiller de nos traditions et rester absorbés dans la contemplation de nous-mêmes et de notre savoir.

Cultiver la science pour elle-même est la première des tâches et aussi la plus noble ; nous n'y faillirons jamais.

La nature de notre esprit et nos aspirations s'y opposent d'ailleurs.

C'est même une tâche utile, car la science désintéressée est la source féconde de toute science appliquée.

Sans compter ses effets désastreux au point de vue moral, l'utilitarisme exclusif ne peut que remporter des victoires passagères et peu durables.

(¹) Voir à cet égard les nombreux articles publiés depuis quelques années dans *Chemiker Zeitung*, *Chemische Industrie Zeitschrift für Angewandte Chemie*, etc...

(²) Nous sommes en instance auprès du Conseil général de Meurthe-et-Moselle pour obtenir le vote de crédits nécessaires pour la création définitive d'un enseignement de chimie physiques et d'électrochimie à l'Institut chimique de Nancy. Tout nous fait présager que notre demande sera favorablement accueillie.

En présence de la lutte économique sans cesse plus âpre, il faut donc savoir allier judicieusement le savoir avec la pratique.

Nous deviendrions de nobles dupes si, par esprit chevaleresque, nous jetions au vent d'une publicité hâtive, nos découvertes avant d'en avoir tiré tout le suc possible au profit de notre industrie nationale.

Il faut donc que la science devienne militante; il faut, en un mot, que le savoir soit doublé de volonté et que cette volonté soit agissante. Il faut, en résumé, que les énergies scientifiques s'associent, collaborent et s'inspirent mutuellement; c'est à cette condition seule que notre pays pourra garder son rang élevé dans la hiérarchie intellectuelle des nations, et reconquérir sa situation comme puissance productrice.

Vous ferez, messieurs, la plus méritoire des œuvres, en associant vos efforts aux nôtres pour contribuer au progrès de la science et au développement de la prospérité nationale.

CHRONIQUE

L'emploi des paliers à rouleaux dans l'industrie des tramways électriques. — On a cherché à réduire les dépenses d'exploitation des tramways électriques en réduisant les frais de génération du courant par l'emploi de moteurs perfectionnés, d'économiseurs, de surchauffeurs, etc.; il est intéressant de signaler aussi les essais faits en vue de réduire la consommation d'énergie électrique par voiture-kilomètre. Les essais faits par l'Interstate Street Railway C°, à Attleboro (Massachusetts), prouvent que les économies réalisables de ce côté sont loin d'être négligeables. Ils ont été faits avec deux voitures en service régulier d'exploitation; l'une était munie de paliers ordinaires, l'autre de paliers à rouleaux du système Massberg, en service depuis déjà cinq mois environ sur les lignes.

Les résultats ont été les suivants :

	Paliers ordinaires.	Paliers à rouleaux.
Nombre de voyages.	12	12
Kilomètres parcourus.	232	309
Kilowatts-heure dépensés, total	120,25	96,65
Kilowatts-heure dépensés par voiture-kilomètre.	0,518	0,313
Moyenne des voyageurs par kilomètre.	2,9	3,63

Ces essais indiqueraient une économie d'environ 40 p. 100 en faveur de la voiture munie de paliers à rouleaux, correspondant en réalité à une économie plus considérable par suite de la diminution des frais de premier établissement.

Automobile électrique de la Columbia Electric Motor Carriage C°. — Notre confrère *The Electrical Engineer*, de New-York (n° du 19 mai), décrit la nouvelle voiture automobile électrique que la Compagnie susnommée se propose de mettre sur le marché à courte échéance.

L'aspect de cette voiture est celui d'un phaéton à deux places. La caisse, avec siège et capote à l'avant, se prolonge sur l'arrière-train où se trouvent les accumulateurs. L'ensemble repose sur un truck excessivement léger, tout en fer creux; les roues sont construites comme celles des bicyclettes et sont munies de pneumatiques ainsi que de moyeux à billes. L'essieu d'arrière-train porte un petit moteur Eddy d'une puissance de 2 chevaux et pouvant, en cas de besoin, fournir 3 et même 4 chevaux sans inconvénients graves. La transmission du mouvement s'opère par l'intermédiaire d'un train d'engrenages réducteur. L'arrêt instantané ou la modération de la vitesse s'obtiennent au moyen d'un frein à bande dont le levier est manœuvré par le pied du conducteur. Le poids total de la voiture est d'environ 860 kg; celui du moteur seul est de 58,5 kg environ.

La batterie d'accumulateurs est formée de quatre groupes d'éléments au chlorure d'une capacité totale de 70 ampères-heure pour une intensité de décharge de 25 ampères. Chaque charge correspondra donc à une marche ininterrompue de deux heures et demie. En évaluant, comme le dit notre confrère, la vitesse moyenne de la voiture à 20 km à l'heure sur l'asphalte en palier, on pourra facilement admettre qu'on puisse faire un trajet de 50 à 60 km sur les routes ordinaires sans prendre une nouvelle charge.

Le rendement mécanique de tous les organes de propulsion est, parait-il, excellent. Le moteur a un rendement de 80 p. 100; en admettant une perte de 10 p. 100 dans les transmissions on a donc encore 70 p. 100 pour l'effort exercé à la jante.

Toutes les dispositions sont prises pour que la voiture puisse être être confiée à un employé quelconque sans qu'il en résulte d'inconvénients.

Le Gérant : C. NAUD.

EVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XI. Samedi 12 Juin 1897. 4e Année. — N° 25.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

LA DÉCIMALISATION

DE L'HEURE ET DE LA CIRCONFÉRENCE

M. Cornu a publié, dans un des numéros précédents [1], un fort intéressant article sur les projets de décimalisation du temps et de la circonférence.

Pour faire connaître aux lecteurs de *L'Éclairage* toutes les opinions, je voudrais reproduire quelques-unes des raisons que j'ai fait valoir devant la commission, instituée pour étudier cette question.

La question présente un aspect complexe ; bien des intérêts différents étaient à ménager, on ne pouvait aboutir qu'à une cote mal taillée.

De pareilles solutions ne satisfont parfaitement personne et il est aisé, en les jugeant d'un point de vue exclusif, de les accabler de critiques.

Mais il suffit qu'elles réalisent un progrès pour que l'on s'y résigne.

Pour mon compte, mes préférences étaient pour le système Sarrauton ; j'ai néanmoins accepté de faire le rapport bien qu'une solution différente ait prévalu.

Le seul point essentiel à mes yeux, c'est qu'on fera disparaître les « nombres complexes » tels que :

8 h. 25 m. 40 s.

$25° 17' 14''$, etc.

Le choix des unités importe peu pourvu qu'elles soient divisées décimalement.

Je crois que les électriciens se sont exagéré les inconvénients qui résulteraient pour eux de la réforme ; ceux qu'engendrerait la nécessité de renouveler les chronomètres et les cercles divisés sont bien autrement considérables.

Voici la portion du rapport qui est relative au système C. G. S.

« Pour les mécaniciens, les physiciens, les électriciens, l'unité de temps est la seconde ; ils se servent rarement de l'heure et de la minute, de sorte qu'un changement d'unité serait pour eux une gène presque sans compensation.

Mais ce n'est pas tout ; des trois unités fondamentales : longueur, masse et temps, dérivent toutes les unités secondaires, on ne pourrait toucher à la seconde sans modifier en même temps l'unité de force, et les unités électriques, ohm, ampère, volt, etc.

A la suite de longues discussions, les physiciens sont arrivés à un système d'unités parfaitement cohérent et tout à fait satisfaisant pour l'esprit. Son avènement a paru un progrès comparable à l'invention du système

[1] Numéro du 22 mai, p. 385.

métrique. Il est clair que les physiciens ne pourraient l'abandonner sans répugnance.

Sans doute un changement ne rencontrerait pas des obstacles matériels insurmontables; mais l'uniformité des mesures électriques est une conquête trop récente et trop précieuse. On craindrait de la compromettre en remettant tout en discussion.

Cependant les physiciens peuvent conserver la seconde, quand même les astronomes, les marins, ou même le public adopteraient l'heure décimalisée.

Cette dualité aura-t-elle quelque inconvénient? Je ne le crois pas.

Les industriels ne s'en apercevront même pas.

Pour les physiciens de laboratoire ce ne sera qu'une gêne insignifiante.

L'industriel qui emploie l'ohm pour mesurer une résistance se rappelle-t-il bien que l'ohm est une vitesse? En tout cas, ce souvenir ne peut ni le gêner, ni le servir. Peu lui importe par conséquent que l'unité de temps qui a servi à l'origine pour la définition de l'ohm soit ou ne soit pas celle dont les astronomes font usage dans des recherches toutes différentes.

Cette circonstance ne pourrait devenir une gêne que dans les cas où on a à mesurer un temps.

Or, dans les mesures *relatives*, les seules que les industriels aient à effectuer, le temps n'intervient pas. Ni dans la comparaison de deux résistances, ni dans celle de deux intensités, ni dans celle de deux forces électromotrices, on n'a à mesurer un temps. Toutes ces opérations peuvent se faire sans qu'à aucun moment on ait même besoin de se rappeler quelle est l'unité de temps employée; pas plus que le boutiquier qui mesure de la toile avec un mètre n'a besoin de se rappeler que ce mètre est la quarante-millionième partie du méridien terrestre.

Le changement d'unité n'intéresse donc que les physiciens qui ont à faire des déterminations *absolues*, à déterminer par exemple l'ohm, l'ampère et le volt. Eh bien, dans ces recherches, on pourra continuer à se servir d'un chronomètre à secondes. Sans doute ce chronomètre sexagésimal ne pourra plus que difficilement être comparé aux horloges des observatoires devenues décimales. Mais qu'importe? Ce chronomètre ne doit nous indiquer qu'un *intervalle* de temps, d'ailleurs très court; nous n'avons pas besoin de le remettre à l'heure.

Mais poussons les choses à l'extrême; faisons une hypothèse qui ne se réalisera sans doute que dans un avenir fort éloigné : les astronomes ont adopté l'heure décimale; cet usage s'est répandu dans le public et il est devenu tellement général que l'on ne peut plus se procurer chez les horlogers de chronomètres à secondes.

Quelle gêne en résultera-t-il pour les rares physiciens qui auront à déterminer la valeur absolue de l'ohm? Ils auront à effectuer une multiplication par 36.

Et pour leur éviter cette opération, on imposerait quotidiennement des calculs fastidieux à des milliers de marins, à des millions d'élèves ou d'anciens élèves des écoles primaires.

A-t-on plus souvent à déterminer la valeur absolue de l'ohm, ou bien à faire le point à la mer, à additionner deux angles ou deux temps?

Que reste-t-il donc? Une anomalie purement théorique. Il y aura deux unités, l'heure pour les astronomes, la seconde pour les physiciens; cela est certainement peut satisfaisant pour l'esprit.

Mais, en somme, ces deux unités existent déjà : les électriciens eux-mêmes emploient concurremment l'ampère-heure et le coulomb. Le rapport de la seconde à l'heure deviendra-t-il plus compliqué quand les astronomes ne compteront plus en secondes?

L'anomalie existe donc déjà; seulement elle paraîtra plus choquante, parce qu'elle aura disparu ailleurs.

En résumé, on ne voit pas pourquoi les physiciens interdiraient un progrès aux astronomes et au public, uniquement parce qu'ils ne peuvent pas eux-mêmes en profiter. »

A cette citation, je n'ajouterai qu'un mot.

La question peut se poser ainsi :

Nous avons pour le moment quatre unités de temps ; le jour, l'heure, la minute et la seconde.

Avec le nouveau système on en conservera trois, le jour et l'heure pour les astronomes et le public, la seconde pour les mécaniciens et les physiciens.

C'est là un inconvénient évident.

Mais cet inconvénient peut-on l'éviter ?

Les électriciens sont-ils disposés à renoncer à la seconde.

La campagne qu'ils mènent actuellement prouve bien le contraire.

Le public est-il disposé à renoncer à l'heure ?

Les astronomes eux-mêmes peuvent-ils y renoncer ?

En tout cas, s'ils le faisaient, ce ne serait pas pour adopter la seconde, mais le jour ; il y aurait donc encore deux unités, le jour et la seconde.

Si cet inconvénient est accepté vaut-il mieux avoir à changer d'unité, de temps en temps, par un calcul simple, toutes les fois que l'on passera de la lecture d'un traité d'astronomie à celle d'un traité d'électricité.

Ou bien devra-t-on, comme par le passé, changer trois fois d'unité, *dans l'énoncé d'un seul nombre* en disant 8 h. 14 m. 25 s.

Un progrès partiel vaut-il mieux que pas de progrès du tout ?

H. Poincaré,
Membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes.

SUR LES

TRANSFORMATEURS ROTATIFS

Je me suis proposé, dans cette courte étude d'établir les formules rationnelles qui donnent la valeur efficace du courant alternatif fourni sous ses diverses formes (mono, bi et triphasé) par un transformateur rotatif alimenté sous une tension continue donnée.

Remarquons tout d'abord que la tension fournie par un générateur continu est absolument indépendante de l'hypothèse faite sur la loi de répartition du flux. Considérons en effet (fig. 1) une spire induite supposée prise

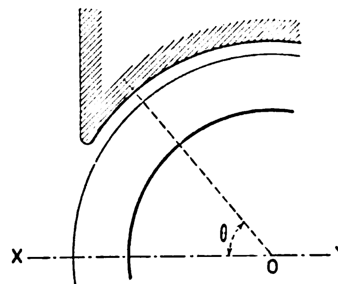


Fig. 1.

sur un anneau bipolaire faisant, à un moment déterminé l'angle θ avec la ligne neutre théorique XY et soit, d'une façon générale :

$$\Phi = f(\theta),$$

la fonction qui détermine la valeur du flux Φ traversant la spire dans la position considérée.

Le voltage engendré par le déplacement de la spire sera, au temps considéré

$$e = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{df(\theta)}{d\theta} \times \frac{d\theta}{dt}.$$

Soit ω la vitesse de rotation de l'enduit ; on a :

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \qquad \text{et} \qquad e = \frac{df(\theta)}{d\theta} \times \omega.$$

La moyenne des valeurs de e pour l'ensemble des valeurs de θ comprises de $\theta = 0$ à $\theta = \pi$ sera fournie par la formule :

$$E = \frac{1}{\pi}\,\omega \int_{\theta=0}^{\theta=\pi} \frac{df(\theta)}{d\theta}\,d\theta = \frac{\omega}{\pi}\left(f(\theta)_{\theta=0} - f(\theta)_{\theta=\pi}\right)$$

ou, comme

$$f(\theta)_{\theta=\pi} = -f(\theta)_{\theta=0}, \qquad E = \frac{2\,\omega}{\pi} f(\theta)_{\theta=0}.$$

E est donc indépendant de la forme de la fonction $f(\theta)$ et se trouve complètement déterminé quand on connait la valeur de cette

fonction pour $\theta = 0$; en désignant par Φ_0 cette valeur et par N le nombre total de spires et par V le voltage aux balais, on retrouve la formule connue :

$$V = \frac{N}{2} E = \frac{N}{2} \frac{2\omega}{\pi} \Phi_0 = \frac{N}{2} \frac{2.2\,\pi n}{\pi t_1} \Phi_0$$
$$= N \frac{n}{t_1} (2\,\Phi_0),$$

(n nombre de tours en t_1 secondes).

De nombreux auteurs établissent cette formule en prenant comme base de leur démonstration l'hypothèse spéciale d'une variation sinusoïdale de Φ ; cette hypothèse est complètement inutile et semble, d'autre part, restreindre les applications de la formule qui est tout à fait générale.

Supposons que l'anneau considéré soit utilisé à la transformation du courant continu fourni sous le voltage V en courant monophasé. La valeur E_1 du voltage efficace sous lequel ce dernier sera produit est donnée par la formule :

$$E_1^2 \frac{t_1}{2n} = \int_{t=0}^{t=\frac{t_1}{2n}} \left(\frac{d\Psi}{dt}\right)^2 dt.$$

Ψ désignant le flux total embrassé par l'un des circuits induits. On voit d'après cette formule que E_1 dépend essentiellement de la forme de la fonction Ψ.

Il est donc nécessaire dans ce cas de faire une hypothèse déterminée sur la variation de Ψ, c'est-à-dire sur la loi de répartition du flux.

J'ai cherché à déterminer expérimentalement l'hypothèse la plus conforme à la réalité.

Dans ce but j'ai déterminé par points la forme de la courbe $\Phi = f(\theta)$. Ces déterminations ont été faites sur une machine Brown, type Manchester, du laboratoire du Polytechnikum de Zurich. La méthode employée consistait à déterminer pour les diverses positions d'une spire d'essai enroulée sur l'induit immobile les déviations obtenues au galvanomètre balistique lorsqu'on interrompait brusquement le circuit inducteur. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

θ (en degrés).	δ (lectures).	$\delta_1 = K\Phi$ (valeurs corrigées de δ).
90	— 2	— 2
87	14	14
84	25	25
81	38	38
78	50	49,98
75	61	60,97
72	73	72,95
69	85	84,92
66	98	97.90
63	109,3	109,11
60	120,3	120,07
57	134,5	134,21
54	146	145,63
51	159	158,45
48	169,9	169,24
45	184	182,22
42	195	194
39	207	205,8
36	220	218,58
33	233	231,37
30	245	243,26
27	258	255.70
24	270	267,40
21	283	280
18	295,1	291,65
15	306,2	302,4
12	311,5	307,4
9	316	311,8
6	319,8	315,4
3	320	315,6
0	320,2	315,2

En cherchant à représenter ces résultats par une courbe (fig. 2) on reconnaît que de $\theta = 90°$ à $\theta = 12°$ (extrémité de la corne polaire) les variations du flux sont très exactement représentées par une formule linéaire, tandis qu'il peut être considéré comme constant dans l'intervalle compris entre les cornes polaires. On pouvait d'ailleurs prévoir ce résultat en considérant que la résistance magnétique étant à très peu près constante pour les différents circuits magnétiques élémentaires, le flux doit se trouver sensiblement uniformément réparti dans l'entrefer suivant la périphérie de l'induit. Cette hypothèse ne tient pas compte de l'épanouissement du flux dans le voisinage des cornes, mais elle se rapproche néanmoins beaucoup plus de

la réalité que l'hypothèse d'une variation sinusoïdale ; pour permettre la comparaison j'ai tracé sur la même figure la sinusoïde correspondante.

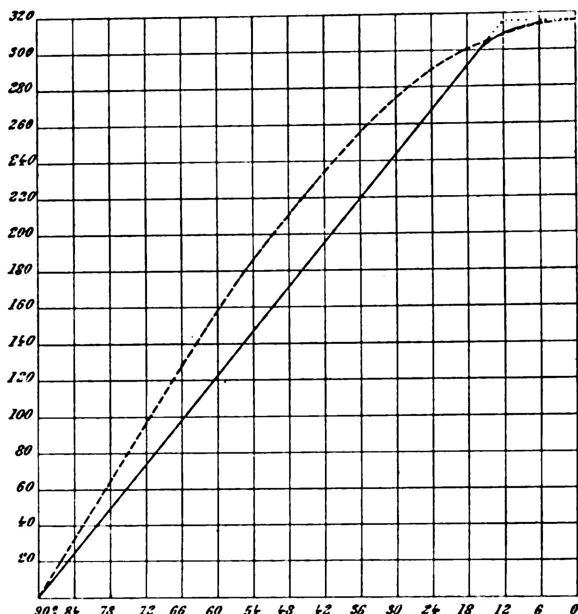


Fig. 2.

Il résulte de ce qui précède que nous pouvons considérer comme constant le voltage engendré par l'une quelconque des spires pendant son déplacement (à vitesse constante) sous les pièces polaires et comme nul lorsqu'elle se déplace entre les cornes.

Il est facile d'établir directement dans cette

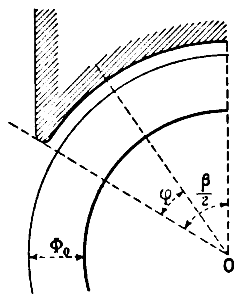


Fig. 3.

hypothèse la formule générale relative au courant continu, par des considérations élémentaires qui n'exigent pas l'intervention du calcul intégral.

On a en effet, en désignant par φ l'angle compris entre le rayon qui aboutit à la spire et celui qui passe par l'extrémité de la corne polaire (fig. 3) :

$$\Phi = \Phi_0 - K\varphi,$$

avec la condition :

$$0 = \Phi_0 - K\frac{\beta}{2},$$

qui détermine K.

Il vient donc :

$$\Phi = \Phi_0 - \frac{2\,\Phi_0}{\beta}\varphi,$$

β désignant l'angle sous-tendu par l'une des pièces polaires.

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = +\frac{2\,\Phi_0}{\beta}\frac{d\varphi}{dt},$$

ou comme :

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{2\,\pi n}{t_1},$$

$$e = \frac{2\,\Phi_0}{\beta}\frac{2\,\pi n}{t_1}.$$

Le nombre des spires actives étant $\frac{N}{2} \times \frac{\beta}{\pi}$ il vient

$$V = +\frac{N}{2}\frac{\beta}{\pi} \times \frac{2\,\Phi_0}{\beta}\frac{2\,\pi n}{t_1} = +N\frac{n}{t_1}(2\,\Phi_0).$$

Considérons l'un des circuits destinés à fournir le courant alternatif (monophasé) et supposons qu'à l'origine des temps les spires correspondant aux prises de courant se trouvent situées sur le diamètre qui passe par le milieu des pièces polaires. Le voltage engendré sera alors nul ; il ira en croissant linéairement en fonction du temps jusqu'à ce que le diamètre des prises de courant arrive sous les cornes polaires ; à ce moment il sera maximum et égal à V (continu) et conservera la même valeur pendant le déplacement du diamètre considéré entre les cornes, il décroîtra ensuite de nouveau pro-

portionnellement au temps et enfin, après une demi-révolution complète il sera de nouveau nul. Ces variations sont représentées en fonction du temps par le graphique ci-contre (fig, 4) (α désigne l'angle sous-tendu par les cornes); α et β sont supposés exprimés en radians.

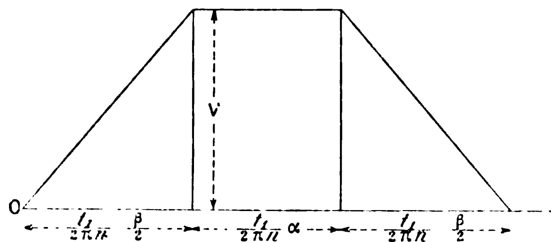


Fig. 4.

On a donc pour déterminer la valeur du voltage efficace E_1 l'équation:

$$E_1=\sqrt{\frac{2n}{t_1}\int_{t=0}^{t=\frac{t_1}{2n}}\left(\frac{d\psi}{dt}\right)^2 dt}$$

qui donne:

$$E_1=\sqrt{\frac{2n}{t_1}\left\{2\int_{t=0}^{t=\frac{t_1}{2\pi n}\frac{\beta}{2}}\frac{V^2}{\left(\frac{t_1}{2\pi n}\frac{\beta}{2}\right)^2}t^2dt+V^2\frac{t_1}{2\pi n}\alpha\right\}}$$

$$=\sqrt{\frac{2n}{t_1}V^2\left\{\frac{2}{3}\frac{t_1}{2\pi n}\frac{\beta}{2}+\frac{t_1}{2\pi n}\alpha\right\}}$$

$$=\frac{V}{\sqrt{\pi}}\sqrt{\alpha+\frac{\beta}{3}}.$$

On peut simplifier en remarquant que $\alpha = \pi - \beta$, il vient alors:

$$E_1 = V\sqrt{1-\frac{2}{3}\frac{\beta}{\pi}}.$$

Cette formule est encore évidemment valable pour le montage biphasé.

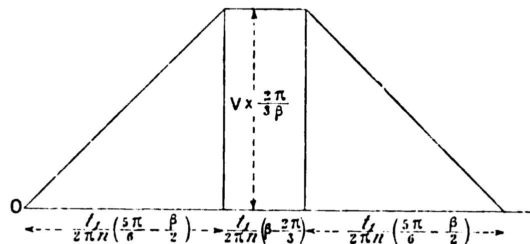


Fig. 5.

Lorsqu'il s'agit d'un montage triphasé, trois cas peuvent se présenter:

1° *cas* (fig. 5):

$$\beta > \frac{2\pi}{3}.$$

Dans ce cas la valeur maxima n'atteint pas V mais seulement:

$$V\,\frac{\frac{2\pi}{3}}{\beta}.$$

De plus il est évident que le temps pendant lequel le voltage reste constant est égal à:

$$\left(\beta-\frac{2\pi}{3}\right)\frac{t_1}{2\pi n}.$$

On a donc alors:

$$E_1=\sqrt{\frac{2n}{t_1}\left\{2\int_{t=0}^{t=\frac{t_1}{2\pi n}\left(\frac{5\pi}{6}-\frac{\beta}{2}\right)}\frac{V^2\left(\frac{2\pi}{3\beta}\right)^2}{\left\{\left(\frac{5\pi}{6}-\frac{\beta}{2}\right)\frac{t_1}{2\pi n}\right\}^2}t^2\,dt+V^2\left(\frac{2\pi}{3\beta}\right)^2\left(\beta-\frac{2\pi}{3}\right)\frac{t_1}{2\pi n}\right\}},$$

ou:

$$E_1=\sqrt{\frac{2n}{t_1}V^2\left(\frac{2\pi}{3\beta}\right)^2\left\{\frac{2}{3}\left(\frac{5\pi}{6}-\frac{\beta}{2}\right)\frac{t_1}{2\pi n}+\left(\beta-\frac{2\pi}{3}\right)\frac{t_1}{2\pi n}\right\}}$$

$$E_1=V\left(\frac{2n}{3\beta}\right)\sqrt{\frac{2}{3}\frac{\beta}{\pi}-\frac{1}{9}}.$$

2e *cas* (fig. 6) :

$$\beta = \frac{2\pi}{3}.$$

La valeur maxima est égale à V.

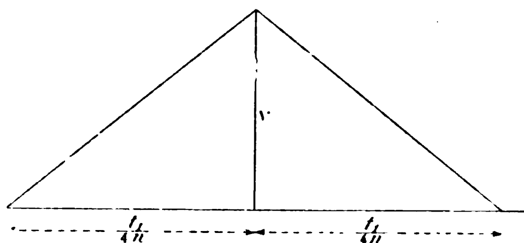


Fig. 6.

La partie horizontale du graphique disparaît.

D'où :

$$E_1 = \sqrt{\frac{2n}{t_1} \times 2\int_{t=0}^{t=\frac{t_1}{4n}} \frac{V^2}{\left(\frac{t_1}{4n}\right)^2} t^2\,dt.}$$

$$E_1 = \sqrt{\frac{2n}{t_1} \times 2 \times \frac{V^2}{3} \times \frac{t_1}{4n}}$$

$$= \frac{V}{\sqrt{3}}.$$

3e *cas* (fig. 7) :

$$\beta < \frac{2n}{3}.$$

La valeur maxima est égale à V.

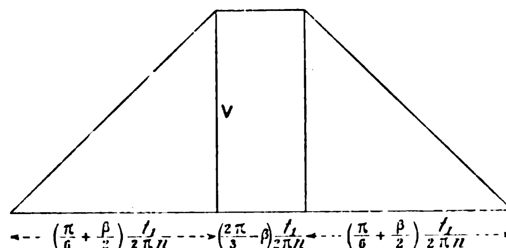


Fig. 7.

Le temps pendant lequel le voltage reste constant est égal à :

$$\left(\frac{2n}{3} - \beta\right) \frac{t_1}{2\pi n}.$$

On a alors :

$$E_1 = \sqrt{\frac{2n}{t_1} \left\{ 2\int_{t=0}^{t=\left(\frac{\pi}{6}+\frac{\beta}{2}\right)\frac{t_1}{2\pi n}} \frac{V^2}{\left\{\left(\frac{\pi}{6}+\frac{\beta}{2}\right)\frac{t_1}{2\pi n}\right\}^2} t^2 dt + V^2 \left(\frac{2\pi}{3} - \beta\right)\frac{t_1}{2\pi n} \right\}}$$

$$E_1 = \sqrt{\frac{2n}{t_1} V^2 \left\{ \frac{2}{3}\left(\frac{\pi}{6}+\frac{\beta}{2}\right)\frac{t_1}{2\pi n} + \left(\frac{2\pi}{3} - \beta\right)\frac{t_1}{2\pi n} \right\}}$$

$$E_1 = V\sqrt{\frac{7}{9} - \frac{2}{3}\frac{\beta}{\pi}}.$$

Application. — Ces formules se vérifient très bien en pratique. A titre d'exemple je terminerai en donnant les résultats obtenus sur un transformateur rotatif triphasé de Brown. L'arc sous-tendu par les pièces polaires était de 0,74 $\times$ π radians. On avait donc $\beta > \frac{2}{3}\pi$. En appliquant la formule correspondante (1er *cas*) on trouve :

$$E_1 = V\frac{2\pi}{3\beta}\sqrt{\frac{2}{3}\frac{\beta}{\pi} - \frac{1}{9}}$$

$$= V\frac{2}{3 \times 0{,}74}\sqrt{\frac{2}{3}\,0{,}74 - \frac{1}{9}}$$

$$= V \times 0{,}55.$$

L'expérience a donné pour V = 103,5 volts, E = 57,4 volts et la formule conduit à 57, volts.

J.-L. Routin,
Ingénieur de la Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône.

SUR LE CHANGEMENT
DES UNITÉS FONDAMENTALES
DANS LES SYSTÈMES ABSOLUS DE MESURE

1. Notre intention est d'exposer dans cette note quelques considérations sur le choix des unités fondamentales dans un système

absolu de mesures ainsi que les conséquences qu'on peut en déduire, eu égard à la forme des équations de dimensions.

Les unités fondamentales admises sont : une longueur, une masse et un temps. On peut en premier lieu rechercher s'il n'est pas possible de trouver, parmi les grandeurs physiques adoptées comme grandeurs fondamentales, un groupe de trois grandeurs différentes de celles employées jusqu'ici ; et comment seront modifiées les dimensions des autres grandeurs lorsque les unités fondamentales seront changées.

Quelles sont du reste les raisons principales qui conduisent à adopter comme unités fondamentales, une longueur, une masse et un temps ?

Au point de vue expérimental on peut, dans les deux premières, invoquer la facilité avec laquelle on peut établir et reproduire un étalon de ces deux unités pour la troisième une reproduction facile est impossible. Au point de vue théorique, il est évident qu'on peut regarder les deux premières comme des unités *primitives ;* la troisième, au contraire, sera toujours une unité *déduite* d'un des deux mouvements de la terre, de préférence de celui d'une planète idéale se déplaçant uniformément sur le plan de l'écliptique et dont le centre coïnciderait seulement avec celui de la terre pour les deux équinoxes.

A ce point de vue il serait préférable de prendre pour troisième unité fondamentale ou primitive une force ou un travail, grandeur qui est prédominante dans la plupart des phénomènes physiques.

Cette proposition de prendre l'énergie comme unité fondamentale, que nous avions tout d'abord crue nouvelle, et que par suite nous avons revendiquée récemment [1], a déjà été faite par le professeur Ostwald à la fin de l'année 1892 [2].

[1] *Electricista Roma*, vol. VI, p. 67, 1897.

[2] *Studien zur Energetik Zeitschrift für physikalische chemie*, t. IX et X, 1892. — *Industrie Électrique*, 10 juillet 1892.

Comme l'a rappelé M. Franken, président de l'Institut Montefiore, dans son adresse inaugurale [1], le professeur Ostwald propose de remplacer l'unité de masse par l'unité d'énergie pour cette raison que l'énergie a une existence plus sûre que celle de la matière.

2. L'opportunité de l'adoption d'une unité d'énergie parmi les grandeurs fondamentales résultant de la considération des équations de dimensions des autres grandeurs physiques, nous allons déterminer les dimensions de ces grandeurs dans un système quelconque, connaissant celles-ci dans un système donné, celui où les unités fondamentales sont une longueur, une masse et un temps.

Les dimensions des nouvelles unités fondamentales sont dans le système donné :

$$\left.\begin{aligned} G_1 &= L^{\alpha_1} M^{\beta_1} T^{\gamma_1} \\ G_2 &= L^{\alpha_2} M^{\beta_2} T^{\gamma_2} \\ G_3 &= L^{\alpha_3} M^{\beta_3} T^{\gamma_3} \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Inversement les dimensions des unités fondamentales de l'ancien système sont dans le nouveau :

$$\left.\begin{aligned} L &= G_1^{a_1} G_2^{b_1} G_3^{c_1} \\ M &= G_1^{a_2} G_2^{b_2} G_3^{c_2} \\ T &= G_1^{a_3} G_2^{b_3} G_3^{c_3} \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Substituons maintenant ces dernières quantités dans les équations (1) ; celles-ci devant être homogènes, nous avons les neuf relations linéaires suivantes :

$$\left.\begin{aligned} 1 &= a_1\alpha_1 + a_2\beta_1 + a_3\gamma_1 \\ 0 &= a_1\alpha_2 + a_2\beta_2 + a_3\gamma_2 \\ 0 &= a_1\alpha_3 + a_2\beta_3 + a_3\gamma_3 \\ 0 &= b_1\alpha_1 + b_2\beta_1 + b_3\gamma_1 \\ 1 &= b_1\alpha_2 + b_2\beta_2 + b_3\gamma_2 \\ 0 &= b_1\alpha_3 + b_2\beta_3 + b_3\gamma_3 \\ 0 &= c_1\alpha_1 + c_2\beta_1 + c_3\gamma_1 \\ 0 &= c_1\alpha_2 + c_2\beta_2 + c_3\gamma_2 \\ 1 &= c_1\alpha_3 + c_2\beta_3 + c_3\gamma_3 \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

Ces trois groupes d'équations permettent

[1] La théorie des unités. *La Lumière Électrique*, t. LI, p. 441 et 492, 1894.

de calculer les a, les b et les c. Leur résolution conduit à :

$$\left.\begin{array}{lll} a_1 = \frac{A_1}{D}, & a_2 = \frac{A_2}{D}, & a_3 = \frac{A_3}{D}, \\ b_1 = \frac{B_1}{D}, & b_2 = \frac{B_2}{D}, & b_3 = \frac{B_3}{D}, \\ c_1 = \frac{C_1}{D}, & c_2 = \frac{C_2}{D}, & c_3 = \frac{C_3}{D}, \end{array}\right\} \quad (3')$$

en appelant D le déterminant des coefficients des inconnues et A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3, C_1, C_2, C_3, ses mineurs du premier ordre.

3. Considérons maintenant une grandeur quelconque dont l'équation de dimension est dans le système donné :

$$H = L^\alpha M^\beta T^\gamma.$$

Son équation dans le système nouveau s'obtiendra en remplaçant L, M et T par leurs expressions (2) ; elle est donc :

$$H = G_1^a G_2^b G_3^c,$$

en posant pour simplifier :

$$\left.\begin{array}{l} a = a_1\alpha + a_2\beta + a_3\gamma \\ b = b_1\alpha + b_2\beta + b_3\gamma \\ c = c_1\alpha + c_2\beta + c_3\gamma \end{array}\right\} \quad (4)$$

La détermination des dimensions (4) d'une grandeur quelconque dans le système (G) est donc facile, connaissant ses dimensions dans le système (L, M, T), la connaissance des valeurs (3') suffit.

4. Le choix des unités fondamentales n'est nullement arbitraire ; on ne peut en effet remplacer ces trois unités par celle de longueur, de superficie, de volume, etc., pas plus qu'on ne peut adjoindre aux unités de longueur et de masse, celle, par exemple, de quantité d'électricité.

Nous avons vu (3') que les expressions des a, b et c ont un dénominateur commun, le déterminant D, et que les numérateurs sont les mineurs du premier ordre de ce déterminant. Il en résulte que si les nouvelles unités fondamentales, comme dans le cas que nous venons de citer, sont indépendantes de l'une des anciennes, T par exemple, les éléments de la dernière colonne du déterminant seront nuls et que six des valeurs (3') seront infinies alors que les trois autres se présenteront sous la forme $\frac{0}{0}$, ce qui fait perdre toute signification aux formules de transformation (4). Ceci se comprend du reste facilement si l'on veut bien se rappeler que les grandeurs physiques sont en général des vecteurs à trois dimensions, et comme les segments de l'espace qui les représentent peuvent s'exprimer en fonction de *trois variables indépendantes*.

5. A l'aide des formules précédentes, nous pouvons calculer les nouvelles dimensions des grandeurs physiques, quand on prend pour nouvelles unités fondamentales trois grandeurs telles qu'elles dépendent à elles trois des trois quantités L, M et T. Nous donnerons seulement le cas où ces nouvelles unités sont la quantité d'électricité, la quantité de magnétisme et l'unité de travail ou d'énergie.

Les dimensions de ces grandeurs dans le système (L M T), sont :

$$Q_e = G_1 = L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}},$$
$$Q_m = G_2 = L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1},$$
$$W = G_3 = L^2 M T^{-2}.$$

On a donc ici :

$$\alpha_1 = \frac{1}{2}, \quad \beta_1 = \frac{1}{2}, \quad \gamma_1 = 0,$$
$$\alpha_2 = \frac{3}{2}, \quad \beta_2 = \frac{1}{2}, \quad \gamma_2 = -1,$$
$$\alpha_3 = 2, \quad \beta_3 = 1, \quad \gamma_3 = -2.$$

Les valeurs des a, b et c sont, par suite :

$$a_1 = 0, \quad a_2 = 2, \quad a_3 = 1,$$
$$b_1 = 2, \quad b_2 = -2, \quad b_3 = 1,$$
$$c_1 = -1, \quad c_2 = 1, \quad c_3 = -1.$$

A l'aide des formules (4) nous pouvons déterminer les nouvelles dimensions des principales grandeurs physiques. Ces dimensions ainsi que celles dans l'ancien système sont reproduites dans le tableau suivant :

**

GRANDEURS	DIMENSIONS	
	Système (L M T).	Système (Q_e Q_m W).
Longueur	L	$Q_m^2 W^{-1}$
Masse	M	$Q_e^2 Q_m^{-2} W$
Temps	T	$Q_e Q_m W^{-1}$
Vitesse, résistance électrique	LT^{-1}	$Q_e^{-1} Q_m$
Accélération	LT^{-2}	$Q_e^{-2} W$
Force	LMT^{-2}	$Q_m^{-2} W$
Constante de gravitation	$L^3M^{-2}T^{-1}$	$Q_e^{-5} Q_m^9 W^{-4}$
Travail ou énergie	L^2MT^{-2}	W
Densité de masse	$L^{-3} M$	$Q_e^2 Q_m^{-8} W^4$
Poids spécifique	$L^{-2} MT^{-2}$	$Q_m^{-8} W^5$
Conductibilité thermique, coefficient de frottement visqueux	$L^{-1} MT^{-1}$	$Q_e Q_m^{-5} W^3$
Pression de fluide ambiant	$L^{-1} MT^{-2}$	$Q_m^{-6} W^4$
Tension superficielle	MT^{-2}	$Q_m^{-4} W^3$
Coefficient de compression linéaire et cubique	$LM^{-1} T^2$	$Q_m^6 W^{-4}$
Conductibilité électrique	$L^{-1} T$	$Q_e Q_m^{-1}$
Quantité d'électricité	$L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}$	Q_e
Quantité de magnétisme, flux magnétique	$L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	Q_m
Densité électrique superficielle	$L^{-\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}}$	$Q_e Q_m^{-4} W^2$
Densité électrique cubique	$L^{-\frac{5}{2}} M^{\frac{1}{2}}$	$Q_e Q_m^{-6} W^3$
Capacité électrostatique	$L^{-1} T^2$	$Q_e^2 W^{-1}$
Potentiel électrique, force électromotrice	$L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2}$	$Q_e^{-1} W$
Intensité de courant, potentiel magnétique puissance d'un feuillet	$L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	$Q_m^{-1} W$
Moment magnétique	$L^{\frac{5}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	$Q_m^3 W^{-1}$
Intensité d'aimantation et de champ	$L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	$Q_e Q_m^3 W^2$
Coefficient de self-induction	L	$Q_m^2 W^{-1}$
Coefficient de force électrostatique, potentiel de gravitation	$L^2 T^{-2}$	$Q_e^{-2} Q_m^2$
Résistance spécifique	$L^2 T^{-1}$	$Q_e^{-1} Q_m^3 W^{-1}$
Puissance	$L^2 MT^{-3}$	$Q_e^{-1} Q_m^{-1} W^2$

On voit que, avec les nouvelles unités fondamentales, toutes les grandeurs physiques ont des dimensions entières; en outre, un plus grand nombre de ces grandeurs sont exprimées en fonction de deux seulement des trois unités fondamentales, ce qui veut dire que la plupart des phénomènes physiques ont avec les nouvelles unités des relations plus étroites qu'avec celles de longueur, de masse et de temps.

On peut donc dire que *toutes les grandeurs physiques peuvent s'exprimer rationnellement en fonction des unités fondamentales de quantité d'électricité, quantité de magnétisme et quantité d'énergie.* L'adoption de ce nouveau système d'unités fondamentales serait, par suite, à conseiller, si la réalisation des étalons de ces nouvelles unités était aussi simple que celle des anciennes.

Il existe naturellement un grand nombre d'autres combinaisons à la condition que leur ensemble contienne les trois quantités L, M, T, et qui, par conséquent, pourraient servir d'unités fondamentales. Nous en avons considéré quelques-uns en dehors de celui que nous venons de donner, mais aucun autre n'offre de dimensions plus simples, pour les unités dérivées, que celui-ci. On peut affirmer également qu'il n'existe aucun système d'unités fondamentales pour lequel les dimensions des grandeurs physiques seraient à la fois entières et positives.

6. Le procédé suivi pour obtenir les dimensions d'une grandeur rapportée à trois unités fondamentales nouvelles, connaissant ces dimensions dans un système donné, n'est évidemment pas unique. On peut également opérer comme on le fait pour déterminer les dimensions des unités dérivées dans le système (L, M, T) c'est-à-dire en se servant des relations qui lient entre elles les différentes grandeurs physiques intervenant dans un phénomène, une élimination opportune ou la résolution de ces relations par rapport aux différentes grandeurs physiques permettrait de déduire leurs dimensions en fonc-

tion de Q_e, Q_m, W. Ce procédé serait évidemment plus compliqué, mais il permet d'affirmer que la définition des unités dérivées n'offre aucune difficulté ni incertitude.

A ce point de vue, l'établissement d'un tableau des dimensions des grandeurs physiques en fonction des trois unités fondamentales choisies comme arbitraires, réussit à fixer une série d'unités pour les différentes grandeurs et réciproquement.

7. Nous avons dit qu'il existait une certaine analogie entre les segments de l'espace et les unités physiques, en ce sens qu'on pouvait faire dépendre ces dernières de trois variables indépendantes. Il est bon de faire remarquer, pour éviter toute équivoque, que cette analogie est très superficielle. Les équations (3) et (4) sont bien en effet analogues à celles d'un changement d'axes de coordonnées, mais, tandis que les coefficients des coordonnées anciennes sont les cosinus des angles des axes entre eux, les a, b, c, α, β et γ sont ici des quantités qui peuvent être supérieures à l'unité.

Dr Riccardo Malagoli,
Professeur à Modène (Italie).

ÉTUDE DES DÉCHARGES [1]

ÉGALITÉ DES POTENTIELS EXPLOSIFS STATIQUE ET DYNAMIQUE

Voici quelques-unes des expériences que j'ai faites :

a. *Excitateur I non éclairé par les radiations ultra-violettes.*

I_1, I_2, demi-sphères de 0,5 cm de diamètre, en laiton, préalablement polies;

E_1, E_2, sphères de 1,65 cm de diamètre;

C_1, C_2, trois jarres de capacité totale 0,015 microfarad;

γ_1, γ_2, condensateur plan de capacité 0,00005; $\frac{\gamma}{C} = \frac{1}{300}$.

Charge de l'électromètre, 1 gr.

1	31	I	5	27	E
2	10	E	6	29	»
3	18	»	7	30	»
4	25	»	8		I(*)

Potentiel explosif statique $V = \sqrt{10 \times 36 + 31} = 61,07$.

Abaissement apparent = 0.

Abaissement réel $< \frac{1}{300}$ V.

Remarque. — L'étincelle éclate en I quelques instants après l'étincelle en E de l'expérience 7. Ce fait se présente assez rarement.

Lorsque *l'excitateur n'est pas entouré d'écrans* l'abaissement peut être parfois considérable. Voici une expérience caractéristique.

I_1, I_2, sphères de laiton de 1 cm de diamètre;

E_1, E_2 sphères de 1,65 cm de diamètre en laiton.

C_1, C_2, deux jarres de capacité totale 0,01 microfarad.

γ_1, γ_2, condensateur plan, capacité 0,0002 microfarad; $\frac{\gamma}{C} = \frac{1}{50}$.

1° Potentiel explosif statique de l'excitateur I sans écrans $\mathcal{V} = 72,5$.

Abaissement apparent = 12,5.

Abaissement apparent relatif $= \frac{12,5}{72,5} = \frac{1}{6}$ environ.

2° Potentiel explosif statique de l'excitateur muni de ses écrans, $\mathcal{V} = 71,9$.

Abaissement apparent = 0.

Notre étude préalable de l'influence de la lumière ultra-violette sur les potentiels explosifs statique et dynamique nous amène naturellement à attribuer cette divergence des résultats à l'absence ou la présence de ces radiations.

Nous allons montrer : 1° que, dans les expériences de M. Jaumann, l'excitateur I se décharge ou ne se décharge pas suivant que les pôles de l'excitateur I sont éclairés ou non par des radiations ultra-violettes;

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* des 8, 15, 22 et 29 mai, p. 289, 337, 397 et 433.

2° que, dans toutes les expériences où l'on observe la décharge de l'excitateur I, par suite de la décharge partielle de C dans γ, on peut trouver une source de radiations ultra-violettes électriquement actives, éclairant les pôles de l'excitateur I.

b. *Excitateur I éclairé par les radiations ultra-violettes.*

On entoure l'excitateur d'écrans opaques pour les radiations ultra-violettes, comme dans les expériences précédentes. On place une lanterne de Duboscq en face de l'excitateur I et à 60 cm environ. L'écran antérieur de l'excitateur présente une fente de 1 cm de large et quelques centimètres de long; cette fente est disposée de façon que la lumière d'une lampe à arc placée dans la lanterne puisse éclairer les pôles de l'excitateur I.

I_1, I_2, sphères en platine de 1 cm de diamètre.

E_1, E_2, sphères en laiton de 1,6 cm de diamètre.

C_1C_2, une jarre de capacité 0,005 microfarad.

$\gamma_1\gamma_2$ condensateur plan de capacité 0,00005 microfarad.

1° *Excitateur non éclairé.* — Lampe à arc traversée par aucun courant.

Potentiel explosif statique de l'excitateur non éclairé $\vartheta_n = 62{,}00$.

Abaissement dynamique apparent $= 0$.

2° *Excitateur éclairé.* — La lampe à arc est traversée par un courant de 13 ampères; on concentre la lumière de l'arc sur les pôles de l'excitateur I par un condenseur en quartz placé sur la lanterne.

Potentiel explosif statique de l'excitateur éclairé $\vartheta_e = 60{,}7$.

Potentiel Φ_e de l'excitateur éclairé $\Phi_e = 54{,}5$.

Abaissement statique $\vartheta_n - \vartheta_e = 1{,}3$.

Abaissement dynamique de l'excitateur éclairé $\vartheta_e - \Phi_e = 6{,}2$.

Donc, *l'abaissement dynamique est notablement supérieur à l'abaissement statique.*

Les abaissements statique et dynamique redeviennent nuls si, entre la lanterne et l'excitateur I, sur le trajet des rayons, on interpose une plaque d'une substance opaque pour les rayons ultra-violets : verre, bois, métal, etc. L'interposition d'une lame de quartz ne supprime pas l'abaissement dynamique; en dispersant la lumière de l'arc par un prisme de quartz, on constate que *ce sont les rayons ultra-violets qui déterminent l'abaissement des potentiels explosifs dynamiques.*

Ces démonstrations ont d'ailleurs été faites par Hertz sur les potentiels dynamiques.

Pour abaisser le potentiel explosif d'un excitateur I, il faut éclairer l'un des pôles de l'excitateur, *l'éclairement du champ interpolaire ne produit aucun effet.*

Lorsque l'excitateur est formé de sphères d'un diamètre inférieur à une certaine limite (5 mm), le pôle négatif seul est sensible; l'éclairement du pôle positif ne provoque pas l'abaissement du potentiel explosif.

Lorsque l'excitateur est formé de sphères de diamètre supérieur à une certaine limite (5 mm environ), les deux pôles sont sensibles [1]; l'abaissement provoqué par l'éclairement du pôle positif va en croissant avec le diamètre du pôle. Un excitateur formé par des sphères de 2 cm de diamètre a les deux pôles également sensibles; si les pôles ont 1 cm de diamètre, le pôle positif est moins sensible que le pôle négatif; si les pôles ont 5 mm de diamètre, le pôle positif est insensible.

Si les deux pôles sont sensibles, on obtient le même abaissement en éclairant simultanément les deux ou en éclairant uniquement le pôle le plus sensible.

La démonstration de la deuxième partie de la proposition résulte d'une série de constatations analogues à la suivante.

Reprenons l'excitateur I entouré d'écrans cachant plus ou moins complètement la vue de l'excitateur I d'un point quelconque de l'appareil de décharge (condensateurs, excitateurs, fils de communication, électromètre,

[1] Pour les pôles de 4 ou 5 cm de diamètre, le pôle positif serait seul sensible. (Sella et Majorana, *loc. cit.*)

etc.). Supposons, par exemple, que l'écran postérieur placé entre E et I soit percé d'une fente.

I_1, I_2, sphères de 1 cm de diamètre en fer, poli à l'émeri.

E_1, E_2, sphères de 1,65 cm de diamètre, en laiton.

C_1, C_2, deux jarres de capacité totale 0,01 microfarad.

$\gamma_1\gamma_2$ condensateur plan de capacité 0,0002 microfarad.

L'excitateur I ne semble éclairé par aucune source de radiations ultra-violettes, mais l'étincelle secondaire qui éclate en E est à 50 cm environ de I et des pôles de l'excitateur I on voit l'étincelle E à travers la fente de l'écran postérieur.

Potentiel explosif statique $\mathfrak{V} = 72,5$.

Potentiel Φ $\Phi = 61$.

Abaissement dynamique apparent 11,5.

On supprime entièrement cet abaissement en plaçant un écran opaque pour les radiations ultra-violettes entre l'étincelle secondaire et l'excitateur I. Cet écran peut avoir des dimensions quelconques pourvu qu'il intercepte le faisceau lumineux émis par l'étincelle secondaire éclairant les pôles I.

En déplaçant légèrement l'écran postérieur percé d'une fente on voit que l'éclairement du champ interpolaire ne provoque pas d'abaissement du potentiel explosif. Quand les pôles ont un diamètre inférieur à 5 mm il faut éclairer la surface polaire négative ; si le diamètre des pôles est supérieur à 5 mm, il suffit d'éclairer un pôle quelconque.

Lorsque le potentiel explosif statique de I croît au delà d'une certaine limite, de nouvelles perturbations apparaissent : 1° les supports en verre desséché par l'acide sulfurique du cylindre extérieur de l'électromètre de MM. Bichat et Blondlot peuvent se recouvrir d'un effluve brillante ; 2° entre les conducteurs chargés à un potentiel élevé et les écrans placés autour de I peuvent jaillir des effluves ou des aigrettes, si ces écrans sont en papier ou en substance faiblement isolante ; 3° le condensateur γ, au moment de sa charge brusque par l'étincelle secondaire, peut émettre des effluves entre les deux armatures contournant le rebord isolant qui dépasse les deux armatures ou encore entre l'armature isolée et le bâti en bois suivant les conditions atmosphériques. Si l'on a négligé de prendre les précautions suffisantes pour écarter l'action de toutes ces effluves sur l'excitateur I, quoique l'excitateur I ne soit pas éclairé en apparence par aucune lumière ultra-violette, on constate néanmoins un abaissement apparent qui peut atteindre $\frac{1}{50}$ et plus du potentiel explosif statique.

Observation. — A la fin d'une note aux comptes rendus [1] qui résume les résultats de ce chapitre, j'ai signalé, dans un renvoi, les perturbations dont il vient d'être question, sans les déterminer, en remarquant qu'elles se présentent surtout quand la charge est irrégulière, c'est-à-dire quand l'isolation n'est plus suffisante et que les effluves éclatent facilement à la surface des isolants.

D'ailleurs, il aurait été impossible de faire rentrer dans une loi des abaissements accidentels, même en supposant que les causes des perturbations fussent restées inconnues.

Conclusion. — *Le potentiel explosif d'un excitateur I placé à l'abri des radiations électriquement actives (ultra-violettes, etc.), n'est pas diminué d'une façon appréciable par des variations rapides du potentiel.*

Historique. — M. Jaumann avait trouvé qu'en provoquant des variations rapides du potentiel on diminue le potentiel explosif [2]. Les expériences dont il tirait cette conclusion se divisent en deux groupes. Dans les unes, la présence de la lumière ultra-violette est évidente ; il transforme une décharge par *effluve* en une décharge par étincelle ou par aigrette. Le type de ces expériences est représenté par la figure 21 dont on supprime-

(1) *Comptes rendus*, 22 juillet 1895.

(2) *Sitz. Ber. der. Akad. der. Wiss. zu Wien*, juillet 1888, p. 765.

rait l'électromètre et dans laquelle on remplacerait l'excitateur à boules I par un excitateur formé par un fil tendu parallèlement à une plaque en communication avec le sol; une effluve brillante s'échappe du fil, la machine électrostatique maintient le potentiel constant; l'effluve se convertit en une étincelle quand on fait éclater l'étincelle en E.

Le type des expériences du deuxième genre est représenté par la figure 23. AB est un

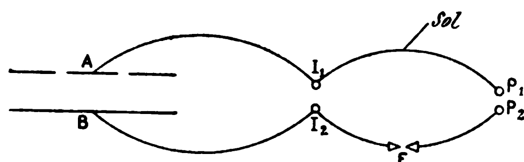


Fig. 23.

électromètre à anneau de garde, $I_1 I_2$ un excitateur à boules de 1 cm de diamètre, P_1 P_2 les pôles d'une machine électrostatique, E un excitateur à pointes; on réunit métalliquement et au sol A I_1 P_1; on fait communiquer B I_2 et on réunit $P_2 I_2$ par l'intermédiaire de E; on fait tourner la machine avec assez de rapidité et de régularité pour que l'indication de l'électromètre reste sensiblement constante.

On constate que, pour une même distance explosive de $I_1 I_2$, le potentiel indiqué par l'électromètre est d'autant plus petit que l'étincelle E est plus longue, c'est-à-dire que les variations du potentiel sont plus rapides. On serait donc tenté de conclure avec M. Jaumann, que le potentiel explosif de $I_1 I_2$ diminue sous l'action des variations rapides du potentiel. Cette interprétation serait exacte si le potentiel indiqué par l'électromètre était une fraction constante du potentiel explosif quelle que soit la distance des pointes E. Cette hypothèse est inexacte; on peut rendre compte des faits en admettant que le potentiel explosif de I ne dépend pas des variations plus ou moins rapides du potentiel. Nous ne développerons pas complètement ce point qui a été exposé ailleurs [1].

[1] *L'Éclairage Électrique*, 27 mars 1897.

Remarquons seulement que l'électromètre indique le carré moyen du potentiel. Ce carré moyen sera sensiblement nul si la distance explosive en E est suffisante pour qu'on puisse charger l'électromètre au potentiel explosif de I avec une seule étincelle en E, car l'électromètre se charge et se décharge dans la durée d'une étincelle. Le carré moyen tend vers la valeur qu'il prend pour une distance des pointes E nulle, quand la distance des pointes tend vers zéro. Le potentiel indiqué par l'électromètre est d'autant plus petit que la longueur de l'étincelle secondaire est plus grande, ce qui est le résultat expérimental.

La loi de M. Jaumann *doit être limitée* au cas où l'excitateur est éclairé par la lumière ultra-violette ou d'autres radiations électriquement actives. Elle peut se formuler sous cette forme, en apparence paradoxale, que *pour décharger un excitateur éclairé par les radiations ultra-violettes et chargé à un potentiel voisin du potentiel explosif statique, il suffit de diminuer brusquement son potentiel.* Cette proposition explique, comme l'a remarqué M. Jaumann, un certain nombre d'expériences inexpliquées jusque-là, en particulier une expérience intéressante de Hertz [1].

Excitateur H *non éclairé par les radiations ultra-violettes.*

Les expériences avec cet excitateur se font avec la disposition décrite page 30; on ajoute simplement l'excitateur H dont on joint les pôles aux armatures du condensateur γ par des fils de cuivre de 30 à 40 cm de long. Les pôles de H sont vissés sur isolant et munis d'écrans en paraffine.

Expérience. — I_1, I_2, sphères de 1,67 cm de diamètre, en laiton et polies;

E_1, E_2, sphères de 2 cm de diamètre, en laiton;

[1] *Ausbreitung der elektrischen Kraft.* A. Barth, Leipzig, 1892, p. 288.

H_1, H_2, sphères de 1,65 cm de diamètre, en laiton et polies;

C_1 C_2, jarre de capacité 0,005 microfarad;

γ_1 γ_2, condensateur plan, de capacité 0,0002 microfarad;

Si la distance explosive de H = 5 mm l'expérience montre que pour y provoquer la décharge, il faut faire éclater l'étincelle en E quand le potentiel de I est égal ou supérieur à 55,18 unités électrostatiques C. G. S.

Le potentiel final d'équilibre entre les pôles H immédiatement après la décharge partielle est 52,9, le potentiel explosif statique de H observé à l'électromètre est 53,01; donc, si on admet l'égalité des potentiels explosifs statique et dynamique de l'excitateur H, d'après des considérations précédemment exposées *la décharge partielle est continue*, ou si elle est oscillatoire, les oscillations ont une très faible amplitude (¹).

§ III. Egalité des potentiels explosifs statique et dynamique

Les expériences faites avec le dispositif de M. Jaumann nous ont montré que : *pour un excitateur dont les pôles sont polis et placés à l'abri de toute lumière ultra-violette, le potentiel explosif n'est pas inférieur au potentiel explosif statique d'une quantité appréciable.*

Si le potentiel explosif dynamique est réellement inférieur au potentiel explosif statique, la différence est donc trop petite pour qu'on puisse la constater; au point de vue expérimental, on pourra admettre l'égalité des potentiels explosifs statique et dynamique.

Mais, si le potentiel explosif dynamique n'est pas inférieur d'une quantité appréciable au potentiel explosif statique, rien ne prouve qu'il ne lui soit point supérieur. Aucune de ces expériences ne démontre l'égalité des deux potentiels explosifs d'une manière absolue. Nous essaierons de la justifier par plusieurs raisons.

En pratique, on se sert surtout de la méthode des étincelles pour mesurer le potentiel maximum auquel une décharge peut amener les pôles d'un excitateur; nous nous attacherons surtout à la démonstration de cette égalité dans ce dernier cas.

1° L'expérience montre que le potentiel explosif statique V_d qui correspond à la distance critique *d* d'un excitateur dérivé non éclairé dans nos expériences est environ les $\frac{8}{9}$ du potentiel explosif statique de l'excitateur principal V_1.

Si le potentiel explosif dynamique pour la distance critique V'_d est supérieur au potentiel explosif statique V_d, il est d'autre part inférieur ou égal au *potentiel maximum* de la décharge, lequel est toujours inférieur au potentiel explosif de l'excitateur principal V_1; donc:

Le potentiel explosif dynamique, pour la distance critique, surpasse le potentiel explosif statique d'une quantité inférieure à $\frac{1}{9}$ *de l'un d'eux* (environ).

Les considérations suivantes conduisent à admettre que le potentiel explosif de l'étincelle critique *est égal au potentiel maximum* et au potentiel explosif statique;

2° En effet, *au voisinage du potentiel maximum d'une décharge*, la vitesse de variation du potentiel tendait vers zéro, *la charge dynamique tend vers la charge statique.*

Cette proposition est appuyée par l'expérience. On a vu en effet (page 20) que lorsque l'étincelle éclate à l'excitateur dérivé éclairé, pour le potentiel correspondant à la distance critique de l'excitateur non éclairé, cette distance s'allonge comme une distance explosive statique.

Donc, à la distance critique d'un excitateur non éclairé, *le potentiel dynamique se comporte comme un potentiel statique vis-à-vis de la lumière ultra-violette;*

(¹) Je reviendrai prochainement sur cette expérience à propos de la question du retard de décharge soulevé par M. Jaumann. *Wied. Ann.*, 1895, et par M. Warburg. (*Wied. Ann.*, t. LIX, p. 117.)

3° Nous avons vu qu'un changement de forme des pôles et, par suite de distribution de l'électricité, influe de la même façon sur les potentiels explosifs statique et dynamique. Ceci nous amène à penser que la distribution de l'électricité est une distribution d'équilibre, dans nos expériences. Cette idée se retrouve d'ailleurs sous une autre forme dans cette proposition, que l'on peut considérer le potentiel comme étant à chaque instant le même en tous les points des fils de quelques décimètres de long, sans self-induction, qui conduisent la décharge aux pôles des excitateurs dérivés. Le potentiel satisfait par conséquent à la condition fondamentale de l'équilibre électrique.

4° On est donc conduit à poser en principe que les potentiels explosifs dynamiques diffèrent des potentiels explosifs statiques, non par un changement de distribution, mais par une différence dans la vitesse de charge ou, plus exactement, la vitesse de variation du potentiel, $\frac{dV}{dt}$, de l'excitateur.

Dire que le *potentiel explosif dynamique est supérieur au potentiel explosif statique* revient, dès lors, à énoncer la proposition suivante :

Quand un excitateur se décharge au potentiel V *lorsque* $\frac{dV}{dt} = 0$, *il ne se décharge pas si* $\frac{dV}{dt} \gtrless 0$.

Je dis que, dans ces conditions, la méthode des étincelles est encore légitime. Soient D et D' les distances explosives statique et dynamique d'un potentiel égal au potentiel maximum V_m d'une décharge, d et d' les distances statique et dynamique d'un potentiel $v < V_m$.

La proposition précédente donne :

$$D = D' \qquad (1)$$
$$d' < d.$$

La proposition générale des potentiels explosifs statiques donne :

$$d < D$$

par suite,

$$d' < D'. \qquad (2)$$

Il n'existe pas de potentiel $v < V_m$ dont la distance explosive dynamique d' soit égale ou supérieure à la distance explosive D' du potentiel maximum ; *donc* D' *est la distance critique de la décharge*.

Donc, à la distance critique, l'étincelle éclate pour le potentiel maximum et, d'après (1) *le potentiel maximum est égal au potentiel explosif statique correspondant*, ce qui démontre la proposition.

Conclusions principales

En résumé, la fréquence des étincelles, l'état de poli des pôles, la lumière ultra-violette, les rayons X exercent une action différente sur les potentiels explosifs statique et dynamique, ce qui justifie la distinction que nous avons faite entre ces deux potentiels.

Dans le procédé habituellement suivi pour déterminer une distance critique, le potentiel explosif dynamique est, en général, différent du potentiel explosif statique. Suivant les hasards de l'expérience, il lui est égal, inférieur ou supérieur et la différence peut atteindre une fraction notable du potentiel explosif. En opérant avec les précautions indiquées, la distance critique se détermine avec précision, la décharge par étincelle apparaît plus régulière qu'on n'aurait pu le supposer ; l'hypothèse de l'égalité des potentiels explosifs statique et dynamique que suppose la méthode des étincelles est justifiée par l'expérience.

R. Swyngedauw,
Maître de conférences à la Faculté de Lille.

REVUE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Indicateur à distance E. Butcher [1].

L'appareil se compose d'un transmetteur et d'un récepteur. Le transmetteur (fig. 1) comprend une roue dentée B, montée sur

[1] Brevet anglais n° 3 908 ; 20 février 1897, 3 figures.

le même axe que l'index A, et une tige filetée *e*, que commande de l'extérieur la manivelle W. Cette tige engrène avec la roue B par un filet de vis hélicoïdal B_1 et

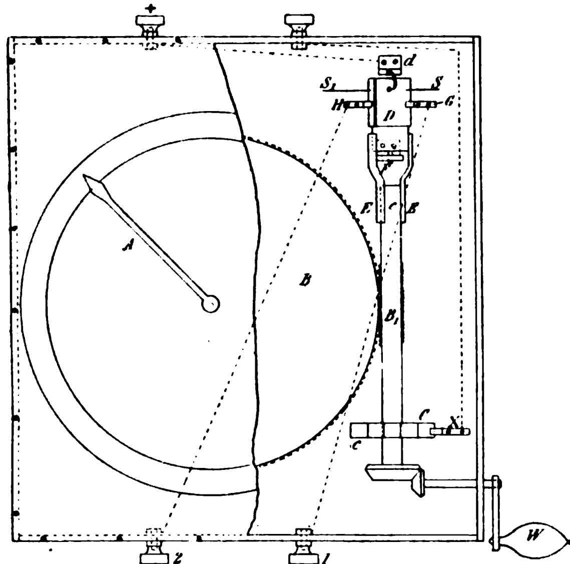


Fig. 1. — Indicateur Butcher. — Coupe partielle de la transmission.

porte, à son extrémité supérieure, un inverseur de courant D pouvant tourner d'un vingtième de tour dans le manchon EE de *e*; une butée F en limite la course dans un sens ou dans l'autre. L'inverseur, représenté en détail dans la figure 2, est formé d'un cylin-

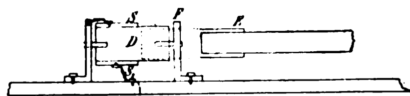


Fig. 2. — Indicateur Butcher. — Détail de l'inverseur.

dre d'ébonite D portant à sa périphérie deux lamelles semi-cylindriques S, S_1, à frotteurs H, G, maintenues isolées l'une de l'autre et reliées séparément à chacune des deux bornes + et — de l'appareil par l'intermédiaire d'une roue à interruptions *c* solidaire de *e* et en connexion électrique avec cette tige.

Le récepteur (fig. 3) renferme un relai polarisé R, T, monté en série avec un électroaimant J à armature à cliquet K; deux axes rectangulaires portent, l'un deux roues dentées K, V, et terminé par un cône de friction L; l'autre, un manchon glissant à cônes de friction O, P. et une mbrayeur Q. Cet axe commande par son filet de vis M une seconde roue N laquelle est destinée à actionner l'index sur le cadran du récepteur.

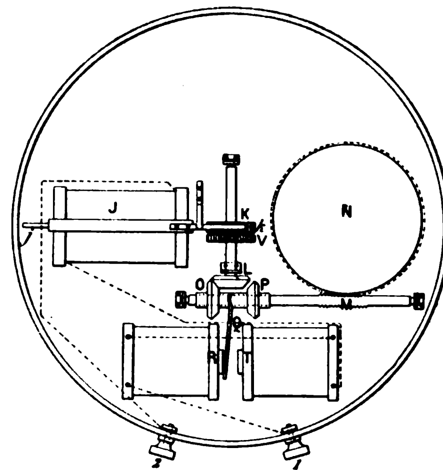


Fig. 3. — Indicateur Butcher. — Coupe verticale du récepteur.

Le fonctionnement de l'appareil est le suivant : selon qu'on tourne W dans un sens ou dans l'autre, D se place de façon à n'envoyer au transmetteur que du courant positif ou négatif qui, en excitant le relai, provoque l'attraction de Q en R ou en T et par suite le déplacement du manchon de façon à mettre O ou P en prise avec L. D'autre part, J, étant également dans le circuit, commande, par son armature, le cliquet K, qui à chaque interruption fait avancer *k* d'une dent. Par suite, on comprend aisément que N tournera dans un sens ou dans l'autre selon la place qu'occuperont O et P. L. D.

Pont de Thomson pour la mesure de la résistance des fils télégraphiques (1).

La figure 1 indique la disposition de ce pont, construit par la maison Carpentier et installé au service de la vérification des télégraphes pour la mesure de la résistance élec-

(1) *Annales télégraphiques*, 3e série, t. XXII, p. 433-446.

***

trique des fils de lignes aériennes. La figure 2 donne le schéma ordinaire des connexions; les lettres et numéros des deux figures se correspondent.

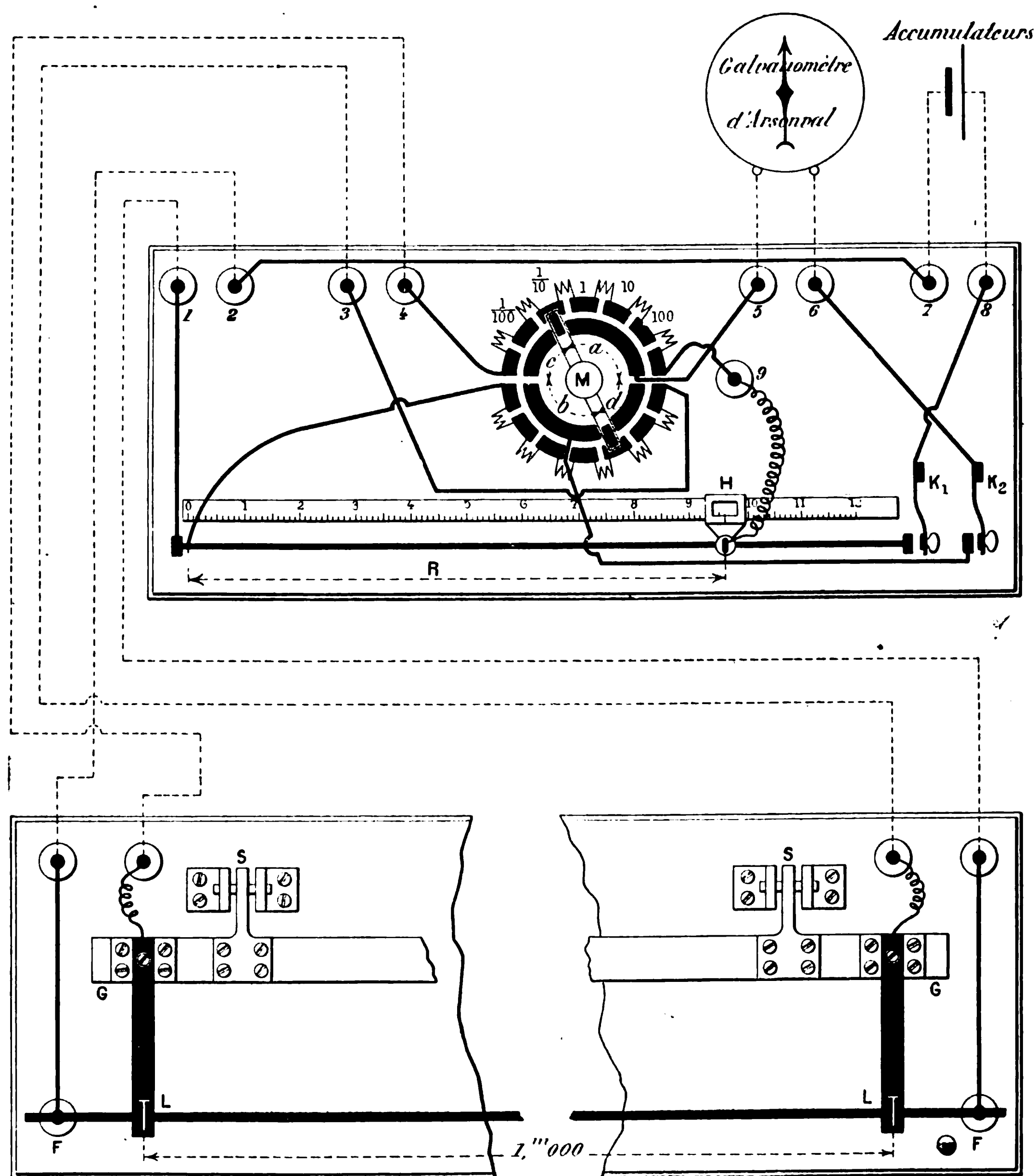


Fig. 1. — Ensemble du pont de Thomsom pour la mesure de la résistance des fils télégraphiques.

Rappelons que lorsqu'il ne passe aucun courant dans le galvanomètre on a :

$$\frac{a}{c} = \frac{R + \gamma \frac{b}{b+d+\gamma}}{X + \gamma \frac{d}{b+d+\gamma}},$$

relation qui, dans le cas où $b = a$ et $d = c$, se réduit à

$$X = \frac{c}{a} R.$$

Dans l'appareil en question les branches de proportion a, b, c, d sont constituées par

deux séries de 6 bobines dont les résistances sont indiquées sur la figure 3. Ces bobines sont reliées entre elles par des plots disposés en couronne. A l'intérieur de cette couronne s'en trouve une seconde, concentrique,

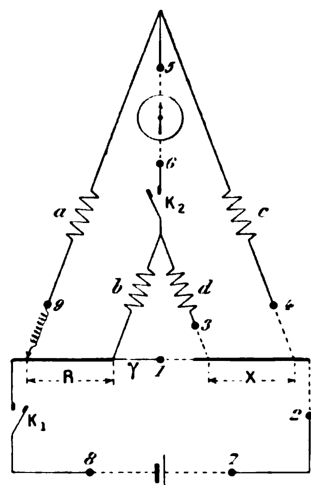


Fig. 2. — Schéma du pont de Thomson.

divisée en deux moitiés. Un bras M, mobile autour du centre commun, porte à chaque extrémité un ressort isolé qui met en communication l'un des plots d'une demi-couronne extérieure avec la demi-couronne intérieure correspondante. On voit immédiatement sur la figure 3 que quelle que soit la

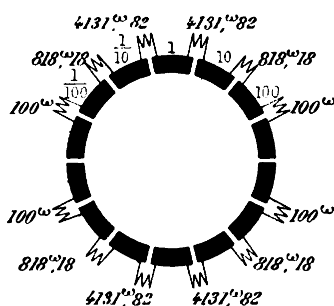


Fig. 3. — Disposition des bobines des bras de proportion.

position du bras mobile la condition $b = a$, $d = c$ est toujours réalisée; de plus, par les valeurs des résistances inscrites sur la figure 3 on voit qu'aux 5 positions que l'on peut donner au bras correspondent des valeurs du rapport $\frac{c}{a}$ variant par multiples décimaux de 1/100 à 100.

La résistance de comparaison R est constituée par un fil de maillechort et est limitée d'une part par l'extrémité de ce fil, de l'autre par le curseur H à couteau en platine qu'une manette permet de presser sur le fil; cette résistance est indiquée par la position du curseur sur la règle disposée parallèlement au fil dont chaque division représente 1/10 000 d'ohm.

Les valeurs limites qu'il est possible de donner à $\frac{c}{a}$ et à R permettent donc de mesurer des résistances comprises entre :

$$X = \frac{1}{100} \times \frac{1}{10000} = 1 \text{ microhm},$$

et

$$X = 100 \times \frac{1}{100} = 1 \text{ ohm}.$$

La résistance X est constituée par celle d'une longueur de 1 m du fil à essayer. Ce fil est tendu aussi bien que possible entre les bornes F, F, deux couteaux L, L dont les arêtes sont distantes de 1 mètre appuient sur le fil. Ces couteaux sont fixés aux extrémités de deux ressorts vissés sur des plaques d'ébonie vissées elles-mêmes sur une lourde règle de cuivre G, G, pouvant tourner autour des charnières S, S. On relève la règle pour la pose du fil et quand elle est rabattue son poids suffit pour assurer de bons contacts entre les couteaux et le fil malgré les défauts de rectitude de celui-ci. A ce propos il convient de remarquer que les résistances de ces contacts s'ajoutent à celles des branches de proportion d et c, vis-à-vis desquelles elles sont toujours négligeables; pour une raison semblable la résistance du contact du couteau du curseur H, qui s'ajoute à a, ne peut avoir d'influence sur l'exactitude des mesures.

Le galvanomètre est un galvanomètre d'Arsonval à miroir et à fil de suspension très fin. Le courant est fourni par une batterie de huit accumulateurs Laurent Cély montés en tension; un rhéostat de Cance permet de

régler l'intensité du courant de manière à ne pas dépasser 8 ampères dans le circuit principal.

Pour faire une mesure on appuie successivement sur le couteau H, la clef du galvanomètre K_2, puis un très court instant sur la clef de pile K_1 et on recommence cette manœuvre après chaque déplacement du curseur jusqu'à ce que l'équilibre du pont soit atteint.

Cet instrument présente sur le pont de Wheatstone l'avantage de permettre de faire un plus grand nombre de mesures dans le même temps et avec moins de personnel. A cause de la faible approximation avec laquelle le dernier instrument mesure les faibles résistance on avait été conduit à prendre une longueur d'essai de 200 m que l'on enroulait suivant une hélice creusée sur la surface latérale d'un cylindre mobile autour d'un axe horizontal; dans ces conditions une mesure demandait environ un quart d'heure et exigeait l'aide de trois ouvriers. Au pont de Thomson et avec l'aide d'un seul ouvrier chargé de serrer le fil sous les bornes F, F et d'amener à son contact les couteaux L, L, on peut faire très facilement 30 essais à l'heure. Si on considère que le service de la vérification du matériel télégraphique fait chaque année environ 2 300 essais de conducteurs pour lignes aériennes, cette économie de temps et de personnel devient très appréciable; en outre la commodité des mesures permettra d'effectuer le tri, au point de vue de la résistance électrique, de grandes quantités de fils, travail que la longueur des essais au pont de Wheatstone avait jusqu'ici rendu impraticable. J. B.

Détermination de l'épaisseur des tôles à employer dans la construction des appareils à courants alternatifs [1];

Par F. Loppé.

On sait que dans la construction des appareils à courant alternatif et particulièrement des transformateurs on doit, pour ne pas exagérer les dimensions de ces appareils, ne pas dépasser un certain minimum pour les pertes d'énergie dans le fer.

Ces pertes sont de deux sortes : les pertes par hystérésis indépendantes de l'épaisseur des tôles et les pertes par courant de Foucault dépendant de celle-ci.

Si l'on se donne la perte par unité de volume du fer et l'épaisseur de l'isolant compris entre deux tôles successives, il y a une épaisseur de tôle plus convenable que les autres, et c'est évidemment celle qui donne le plus grand flux par unité de section du noyau du transformateur.

Il y a plus, cette épaisseur minimum reste pratiquement constante lorsque la perte consentie par unité de volume varie dans d'assez larges limites ainsi que la fréquence.

Pour la déterminer appelons B l'induction dans les tôles, les pertes par unité de volume du fer sont :

$$W = \alpha B^{1,6} + \beta e^2 B^2. \qquad (1)$$

α et β étant des coefficients et e l'épaisseur des tôles.

Soit maintenant B′ le flux par unité de section, c'est-à-dire l'induction y compris l'épaisseur ε de l'isolant entre les tôles; nous aurons évidemment :

$$\frac{B'}{B} = \frac{e}{e+\varepsilon}. \qquad (2)$$

Il faut évidemment trouver le maximum de B′ en fonction de e après avoir remplacé B par sa valeur tirée de l'équation (1), c'est-à-dire trouver le maximum de la fonction implicite B′ de e :

$$W = \alpha \frac{B'^{1,6}(e+\varepsilon)^{1,6}}{e^{1,6}} + \beta B'^2 (e+\varepsilon)^2. \qquad (3)$$

Cette recherche est trop compliquée analytiquement; aussi l'auteur préfère-t-il avoir recours à un procédé graphique consistant à construire une portion de la courbe (3).

Pour cela on trace d'abord, pour une fréquence donnée, en fonction de l'induction,

---

[1] *Bulletin de l'Association amicale des Ingénieurs-Électriciens*, 1er trimestre 1897. Voir aussi : transformateurs de tension à courants alternatifs, par M. F. Loppé, *Encyclopédie des aides-mémoire*, Leauté directeur, p. 77.

les pertes par hystérésis par décimètre cube de fer, c'est-à-dire la courbe :

$$W_h = \eta N B^{1,6}\, 10^{-4},$$

où η est coefficient de Steinmetz qui peut varier suivant les qualités des tôles de 0,00025 à 0,0035.

La courbe ponctuée de la figure 1 corres-

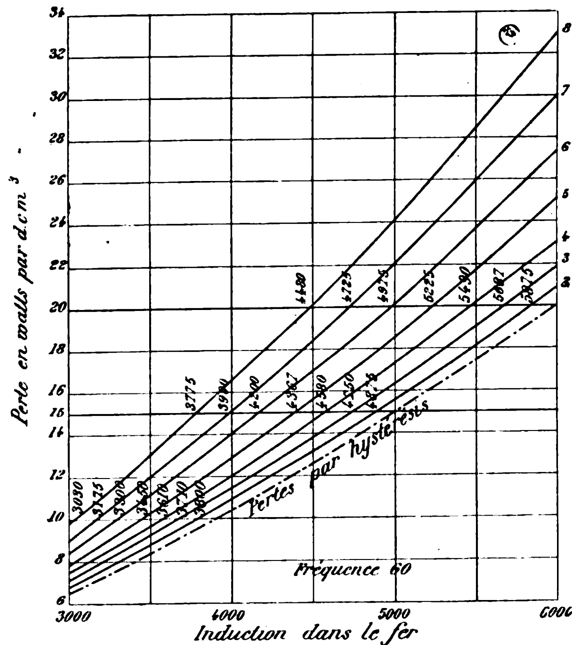


Fig. 1. — Pertes en watts par décimètre cube pour différentes épaisseurs de tôles en fonction de l'induction.

pond au cas où $\eta = 0,003$ et à une fréquence $N = 60$.

On détermine ensuite la série de paraboles :

$$W_f = 0,16\, e^2 N^2 B^2\, 10^{-11},$$

représentant les pertes par courants de Foucault pour 1 dm³ de fer et pour des épaisseurs de tôles de 2, 3, 4, ... 8 dixièmes de millimètre.

Les courbes en trait plein de la figure 1 sont les sommes de chacune de ces paraboles avec la courbe ponctuée et donnent par suite les pertes totales par décimètre cube de fer en fonction de l'induction, pour la fréquence 60, et pour des épaisseurs de tôles de 2, 3 ... 8 dixièmes de millimètre.

Ce sont donc les courbes représentées par l'équation (1) avec W et B comme variables.

Supposons maintenant que la perte admise soit de 15 watts par décimètre cube et traçons l'horizontale $W = 15$; nous en déduirons les inductions B pour les différentes épaisseurs de tôle et par la formule (2) les inductions B'.

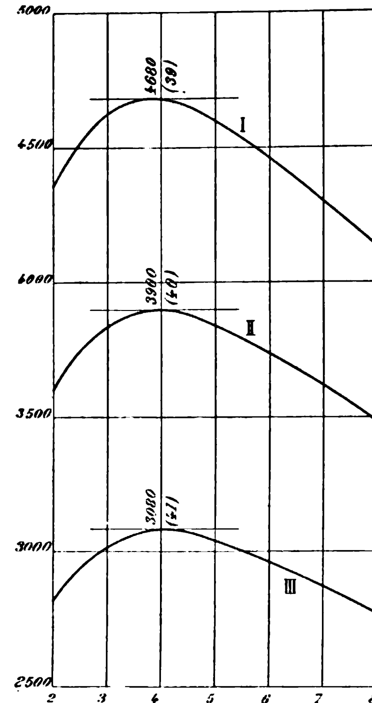


Fig. 2. — Courbes des inductions totales en fonction des épaisseurs des tôles pour différentes pertes données par unité de volume de fer.

I.	Perte donnée par décimètre cube.	20 watts.
II.	» » .	15 »
III.	» » .	10 »

Construisons alors la courbe de ces valeurs de B' en fonction des épaisseurs ; nous obtenons, en prenant pour ε, la valeur 0,07 mm, la courbe II de la figure 2 laquelle accuse un maximum de $B' = 3\,900$ pour une épaisseur des tôles de 4 dixièmes de millimètre.

Pour montrer que l'épaisseur la plus convenable des tôles varie très peu, l'auteur a construit de la même façon les courbes I et III correspondant la première à une perte de 20 watts par décimètre cube de fer et la seconde à une perte de 10 watts. Les épaisseurs correspondant au maximum de B' sont

respectivement de 3,9 et de 4,1 dixièmes de millimètre; la variation quand on double la perte consentie par unité de volume du fer est donc seulement d'environ 5 p. 100.

Reste à montrer l'influence de la fréquence. Pour cela l'auteur calcule pour une perte de 15 watts par décimètre cube les valeurs maxima de B′ et les valeurs correspondantes de *e* pour différentes épaisseurs ε d'isolant et différents coefficients de Steinmetz.

Ces résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Fréquence.	$\varepsilon = 1$ B′	*e*	$\varepsilon = 0{,}7$ B′	*e*	$\varepsilon = 0{,}5$ B′	*e*
			$\eta = 0{,}0025$.			
10	13840	6,7	14450	5,8	14960	5,3
20	8620	5,6	9080	4,9	9470	4,6
30	6550	5	6930	4,5	7210	3,9
40	5360	4,5	5680	4	5940	3,5
60	4440	3,8	4750	3,5	5010	3,1
80	3340	3,5	3610	3,3	3820	3
100	2820	3,4	3030	3,2	3200	2,9
120	2480	3,4	2680	3,1	2830	2,8
140	2270	3,3	2430	3,1	2570	2,8
			$\eta = 0{,}003$.			
10	12530	7	13060	6,5	13490	5,8
20	7860	6,2	8210	5,5	8580	4,8
30	5590	5,5	6300	4,5	6560	4,4
40	4900	4,9	5160	4,7	5380	4
60	3670	4,4	3900	4	4090	3,5
80	3020	4,1	3230	3,8	3390	3,4
100	2580	3,9	2760	3,5	2910	3,3
120	2270	3,8	2420	3,4	2560	3,2
140	2040	3,7	2190	3,3	2310	3,1
			$\eta = 0{,}0035$.			
10	11490	7,2	11980	6,7	12370	6
20	7220	6,4	7540	5,7	7830	5,3
30	5500	5,7	5770	5,2	6010	4,8
40	4495	5,3	4740	4,8	4931	4,4
60	3730	4,7	3970	4,3	4160	3,9
80	2800	4,4	2970	4	3120	3,6
100	2390	4,1	2545	3,8	2680	3,5
120	2070	4	2250	3,5	2370	3,4
140	1880	4	2020	3,4	2018	3,3

Les valeurs de B s'obtiendront en multipliant celle-ci de B′ par $\frac{e+\varepsilon}{e}$.

Pour montrer qu'il est inutile d'employer de la tôle ayant une épaisseur inférieure à 4 dixièmes, considérons le cas le plus défavorable, celui où l'on a $\eta = 0{,}0025$ et $\varepsilon = 0{,}5$ millimètre; on obtient :

Fréquence.	B′ Maximum.	B′ Pour tôle 4/10.	Différence.	Augmentation proportionnelle de la section.
40	5940	5928	12	1,002
60	5110	4923	87	1,015
800	3820	3746	74	1,020
100	3200	3128	72	1,023
120	2830	2756	74	1,027
140	2570	2497	73	1,029

L'augmentation proportionnelle de section de 1,029 correspond à une augmentation de la longueur des spires de $\sqrt{1{,}029}$ ou 1,014, c'est-à-dire à 1,4 p. 100 seulement. F. G.

Facteur d'impédance et chute de tension dans les canalisations alternatives à forte tension;

Par R.-V. Picou (1).

Les tableaux et les courbes du facteur d'impédance, c'est-à-dire du facteur par lequel il faut multiplier la résistance ohmique d'un conducteur pour avoir sa résistance apparente lorsqu'il est traversé par des courants alternatifs, ont été donnés par M. A.-E. Kennelly en 1893 (2); les chiffres donnés s'arrêtent aux fils de 1 centimètre de diamètre.

M. Picou vient de compléter les calculs de M. Kennelly en déterminant les valeurs du facteur d'impédance pour les fréquences de 40, 50, 83 périodes par seconde et des diamètres de conducteurs allant jusqu'à 36 millimètres. La distance des conducteurs est supposée constante et égale à 30 centimètres;

(1) *Industrie Électrique* du 23 mars et du 25 avril 1897.

(2) *Lumière Électrique*, vol. XLVIII, p. 430, 484 et 536, 1896.

c'est l'écartement le moins grand qu'on puisse admettre sur les lignes aériennes.

Les chiffres obtenus par M. Picou sont contenus dans le tableau suivant :

Section en mm².	Diamètre (2 R) en mm.	K_{40}	K_{50}	K_{83}
20	5	1,04	1,06	1,16
28	6	1,09	1,13	1,33
79	10	1,44	1,63	2,42
113	12	1,74	2,04	3,12
176	15	2,32	2,80	4,46
254	18	3,02	3,71	6,02
314	20	3,61	4,44	7,24
490	25	5,20	6,45	10,7
707	30	6,96	8,68	14,4
1 028	36	8,31	11,1	18,3

L'auteur fait remarquer avec raison au sujet du facteur d'impédance que sa considération semble plus propre peut-être à troubler les idées qu'à les éclaircir. Les pertes de tension dans une ligne dépendant, comme on le sait, non seulement du facteur d'impédance de la ligne mais encore de la résistance du circuit d'utilisation, si celui-ci n'a pas de self-induction, ou du facteur d'impédance du circuit récepteur si celui-ci est inductif.

La figure 1 [1], représentant le diagramme du courant et des tensions aux bornes du circuit récepteur et de la génératrice, montre que même dans le cas où φ est nul l'expression de la chute de tension, ou la différence arithmétique entre F_0 et E, ne peut pas s'exprimer d'une façon suffisammet simple en fonction du facteur d'impédance de la ligne pour rendre quelques services en pratique.

Le mieux est alors, comme le fait M. Picou, de calculer d'avance des tableaux donnant les valeurs de l'inductance de la ligne par centimètre de longueur de conducteur, ou encore la valeur de la force contre-électromotrice de self-induction pour une ligne de 100 mètres et de 100 ampères. L'auteur donne les deux tableaux suivants qui per-

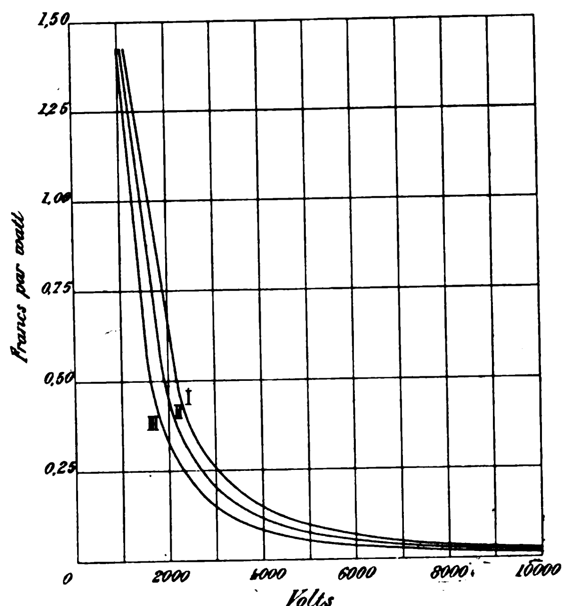


Fig. 1. — Prix du cuivre d'une ligne de 1 km de longueur en fr par watt perdu dans cette ligne, pour différents voltages, et pour différents facteurs de puissance de la réceptrice :

I. Facteur de puissance de la réceptrice égal à 1
II. » » » » à 0,85
III. » » » » à 0,75

mettent de calculer facilement la valeur de ω L I d'une ligne donnée avec l'écartement prévu de 30 centimètres et par suite de construire le diagramme de la figure 1 :

VALEURS DE ωL PAR CENTIMÈTRE DE LONGUEUR DE CONDUCTEUR EN UNITÉS C. G. S.

Section en mm².	FRÉQUENCES EN PÉRIODES PAR SECONDE		
	40	50	83
20	2 520	3 150	5 270
28	2 440	3 050	5 100
79	2 180	2 730	4 560
113	2 090	2 610	4 370
176	1 970	2 460	4 110
254	1 880	2 360	3 940
314	1 830	2 290	3 830
490	1 740	2 150	3 600
707	1 630	2 040	3 410
1 018	1 540	1 920	3 210

[1] Cette figure, un peu plus générale que celle que donne M. Picou, est empruntée à un récent travail de M. Berg. *L'Éclairage Électrique* du 27 mars 1897, p. 22.

VALEURS DE ωLI EN VOLTS POUR UNE LIGNE 100 M ET UN COURANT DE 100 AMPÈRES

Section en mm².	FRÉQUENCES EN PÉRIODES PAR SECONDE		
	40	50	83
20	5,04	6,30	10,54
28	4,88	6,10	10,20
79	4,36	5,46	9,12
113	4,18	5,22	8,74
176	3,94	4,92	8,22
254	3,76	4,72	7,88
314	3,66	4,58	7,66
490	3,48	4,30	7,20
707	3,26	4,08	6,82
1018	3,08	3,84	6,42

Le seul calcul que permette facilement la considération du facteur d'impédance est celui de la tension aux bornes de la ligne lorsque ses extrémités sont reliées en court-circuit. C'est à ce cas que correspondent les courbes de la figure 2 pour une ligne de 100 mètres de long traversée par un courant de 100 ampères.

Ces tensions sont portées en ordonnées et les abscisses sont les sections des conducteurs en millimètres carrés.

Si l'on désigne par u la tension correspondant à la mise en court-circuit à l'arrivée dans la canalisation type de 100 mètres traversée par un courant de 100 ampères, la tension x dans une canalisation de longueur L traver-

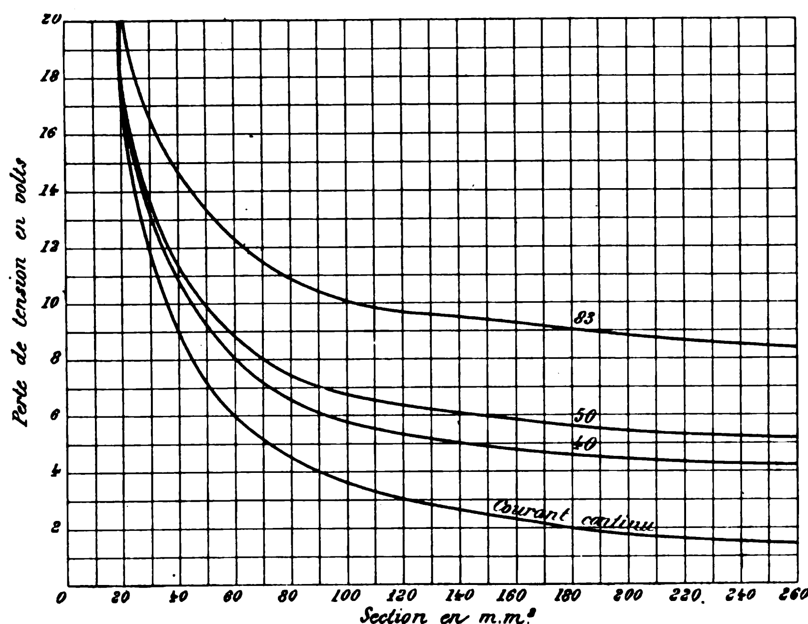


Fig. 2.

sée par un courant I sera pour une même section des conducteurs :

$$x = u \times \frac{100}{L} \times \frac{100}{I}.$$

J. R.

Poteaux métalliques pour lignes télégraphiques ;

Par Dubreuil (¹).

Au début de l'établissement de l'important réseau télégraphique, comprenant actuellement 6 000 km de lignes et 20 000 km de conducteurs, qui couvre nos possessions ou protectorats d'Extrême-Orient, les appuis servant à porter les conducteurs étaient des poteaux en bois dur, tirés exclusivement de forêts indigènes et utilisés sans avoir subi aucune préparation. Mais dès 1881 une réglementation s'opposa à l'emploi des essences rares et l'on dut se contenter d'essences de qualités inférieures dont la durée était si

(¹) *Annales télégraphiques*, 3e série, t. XXII, 385-416.

faible que l'on songea un instant à faire venir de France les bois nécessaires. Pourtant ce

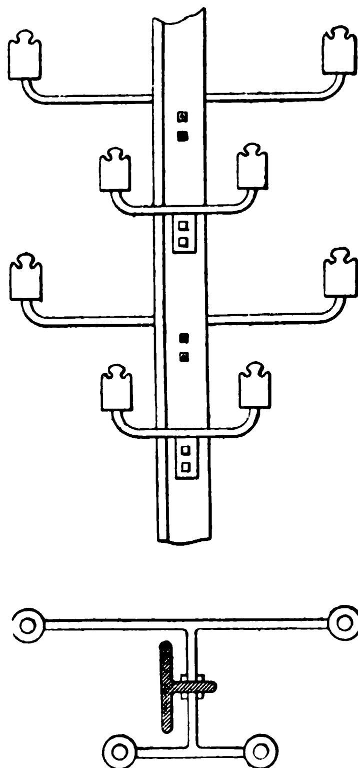


Fig. 1. — Poteau métallique De la Taille.

moyen extrême n'aurait fourni qu'un remède insuffisant et M. Lourme, directeur des Postes et Télégraphes de Cochinchine, son-

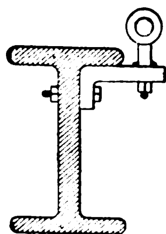


Fig. 2. — Poteau en fer à double T employé primitivement au Tonkin.

gea à utiliser les appuis métalliques ; ce sont les résultats obtenus dans cette voie que M. Dubreuil expose dans l'article que nous analysons.

Des tentatives du même genre avaient déjà été faites en France. Vers 1875 M. Oppermann proposa le fer à simple T ; il fixait les isolateurs à des barres transversales boulonnées sur le plat du fer. Plus tard M. De la

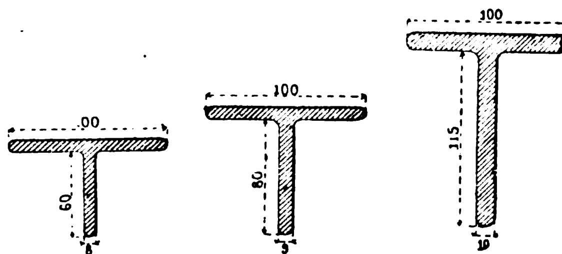


Fig. 3. — Profils des fers à T les plus employés.

Taille employa aussi le fer à T pour la construction de certaines lignes dans la circonscription d'Orléans (fig. 1).

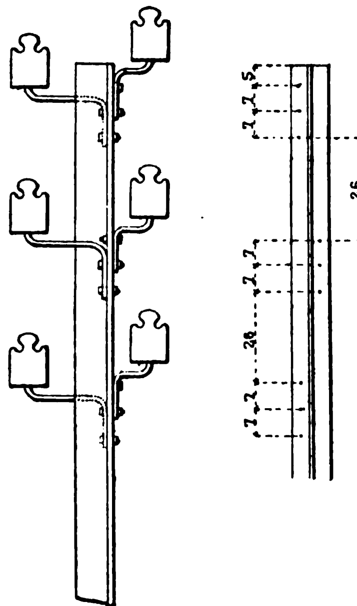


Fig. 4. — Poteau Lourme. Détail de l'armement.

C'est également le fer à simple T qu'adopta M. Lourme en Cochinchine, et il l'employa exclusivement non seulement pour l'établissement des lignes courantes, mais encore pour la construction de pylônes ayant jusqu'à 60 m de hauteur. A la suite des bons résultats obtenus en Cochinchine, les appuis métalliques furent employés au Tonkin ; au début on fit usage de fers à double T, avec équerre en fer boulonnée sur la nervure et soutenant la console (fig. 2), mais cette dis-

position entraînait une main-d'œuvre plus considérable et bientôt on adopta, comme en Cochinchine, le fer à simple T, dont la figure 3 représente les types les plus usités.

Les poteaux employés en ligne courante sont simples, haubannés, jumelés à 1 m du

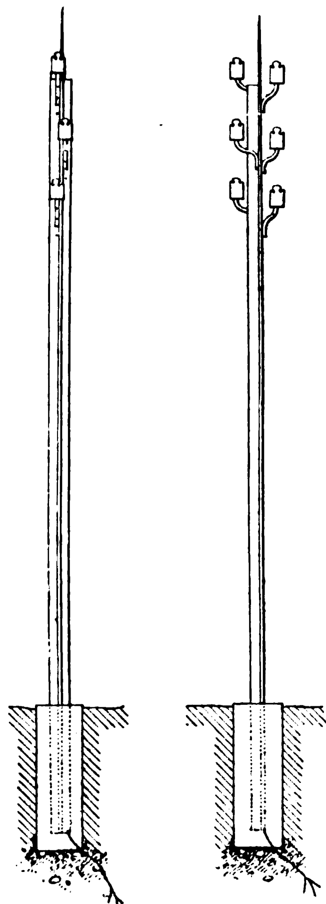


Fig. 5 et 6. — Poteau de 6 mètres.

sommet, jumelés en tête. La distance moyenne entre appuis est de 75 m; dans les courbes elle se trouve réduite à 60 m et même moins. En Cochinchine, l'appui normal régulier est de 5 m; il est de 6 m au Tonkin. L'armement est fait pour 6 fils ayant un écartement vertical de 40 cm; les consoles sont généralement placées sur la barre du T alternativement d'un côté et de l'autre de la nervure (fig. 4, 5, 6); on les fixe par des boulons, passant dans des trous percés à l'avance. La nervure du fer ayant au moins 60 mm et les consoles courtes ordinaires ne laissant qu'un intervalle de 45 mm entre le plan contre lequel on les fixe et la paroi de l'isolateur

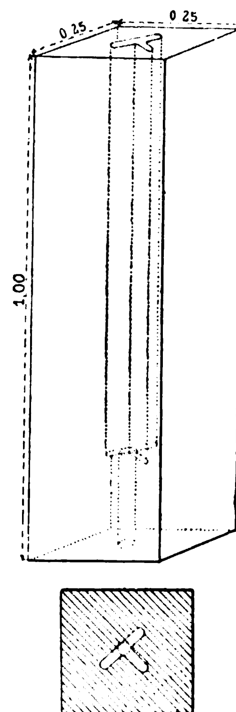


Fig. 7. — Socle en béton (Cochinchine).

il n'a pas été possible de les placer à l'intérieur du T et par suite on a dû renoncer à l'armement alternatif où une console longue est placée entre deux courtes, ces dernières sont toutes placées à l'intérieur du T, les

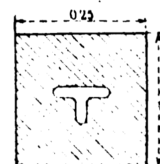


Fig. 8. — Socle en béton (Tonkin).

premières, d'un modèle spécial de 21 cm de longueur (au lieu de 30) étant placées à l'intérieur.

Les poteaux sont scellés dans un socle de béton. En Cochinchine ces socles, dont la figure 7 donne les dimensions, sont fabriqués sur place au moyen de cailloutis, de sable et de ciment mélangés dans un moule paralléli-

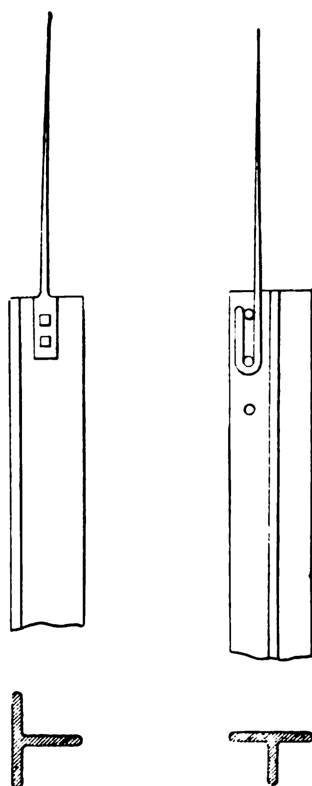


Fig. 9 et 10. — Paratonnerres (Cochinchine et Tonkin).

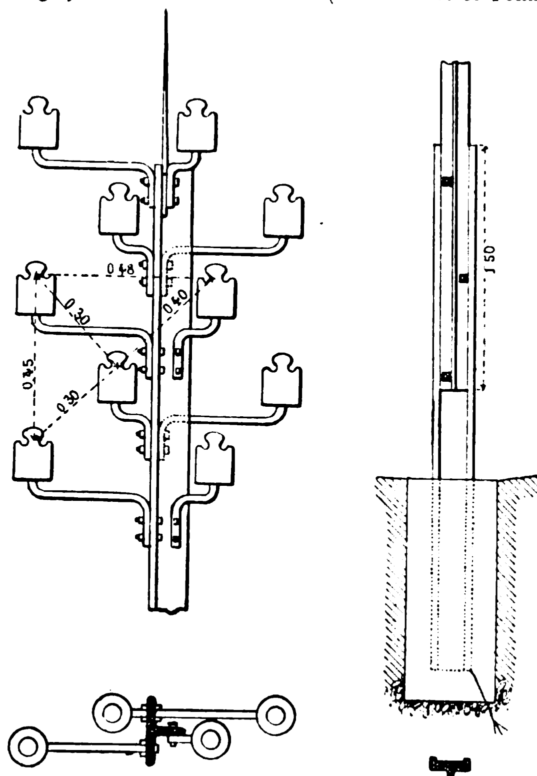


Fig. 11. — Armement alternatif. Fig. 12. — Poteau enté.

pipédique suivant l'axe duquel on place un noyau ayant la forme et des dimensions un peu supérieures au profil du fer; un noyau placé au-dessous laisse dans le socle un trou servant à faire passer le fil de cuivre met-

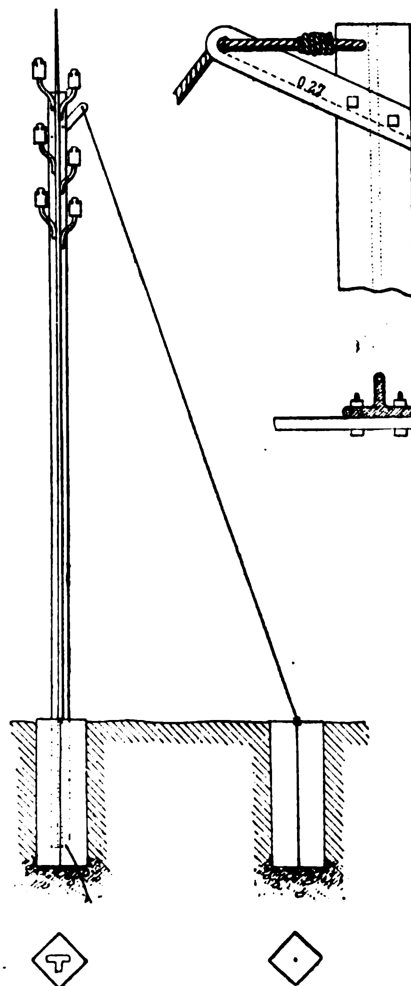


Fig. 13. — Poteau haubanné et détail de la potence.

tant en communication le poteau et le sol. Au Tonkin les socles, achetés au commerce à raison de 3,50 fr, sont apportés tout préparés, solution moins avantageuse que la précédente à cause de la difficulté des transports.

Tous les appuis sont protégés par un paratonnerre constitué par une tige de cuivre; la figure 9 indique le procédé employé en Cochinchine pour les fixer sur le poteau, la

figure 10 celui, un peu moins simple, en usage au Tonkin.

Pour les poteaux destinés à recevoir plus de 6 fils il a fallu revenir à l'armement alternatif, et pour n'avoir pas à faire fabriquer des consoles courtes spéciales, on prend une console ordinaire dont on tord la patte de 90° de manière à la fixer sur la nervure.

Comme appuis spéciaux M. Dubreuil signale d'abord les *poteaux entés* (fig. 12), employés comme poteaux d'exhaussement pour la traversée des petits arroyos et constitués par

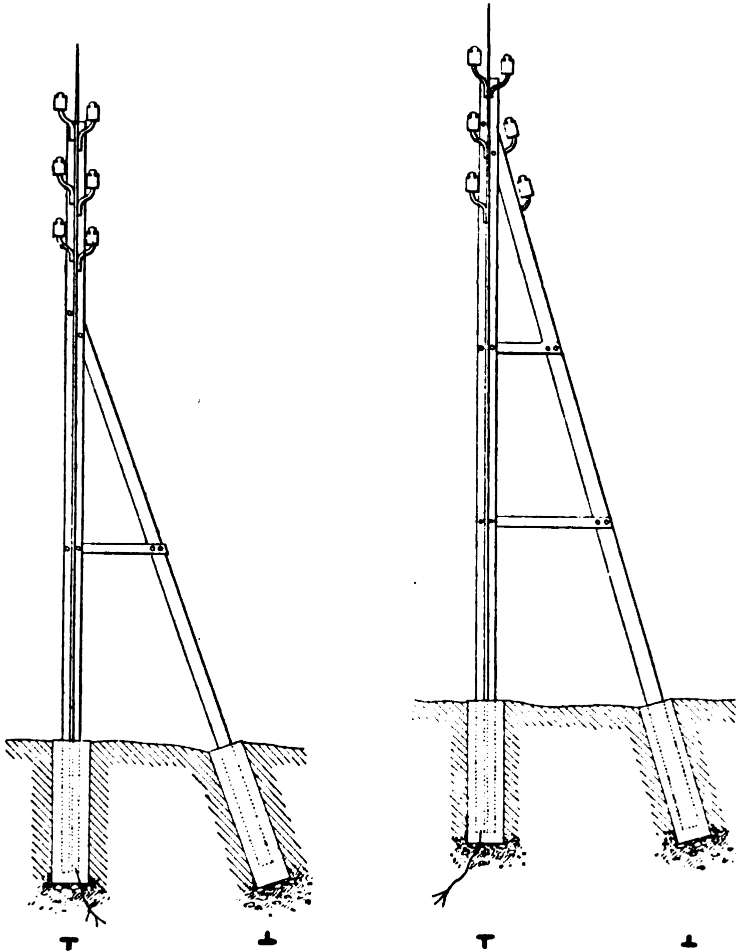


Fig. 14 et 15. — Poteaux d'angles

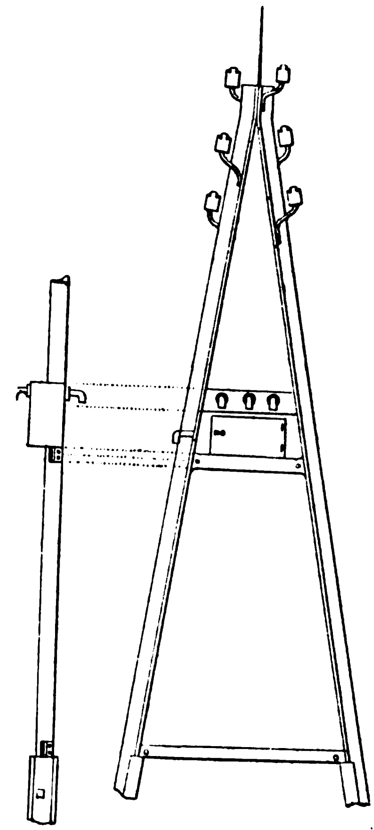


Fig. 16. — Poteau de coupure.

un fer à doube T fixé dans un socle et un fer à simple T de 8 m boulonné sur le premier.

Viennent ensuite les poteaux d'angle, consolidés soit par des haubans (fig. 13) soit par des jambes de forces (fig. 14 et 15); les consoles sont fixées sur la nervure de ces poteaux, contrairement à ce qui a lieu pour les poteaux en alignement, afin de faire porter l'effort sur le plat du fer qui est plus large que la nervure et offre plus de résistance.

Les poteaux de coupure (fig. 6) sont formés de deux fers à T réunis par deux entretoises dont l'une sert de support à la boîte des coupures; les isolateurs sont montés sur des consoles longues fixées sur le plat du fer.

Les poteaux qui, par suite de leur position, doivent être soumis à des tractions considérables exercées dans des sens différents, sont constituées par des pyramides quadrangulaires ou triangulaires (fig. 17 et 18).

Lorsque le nombre des conducteurs à supporter est très considérable on est obligé de

prendre des dispositions particulières, mais le fer à T constitue toujours l'âme de la construction. La figure 19 indique la solution adoptée pour une ligne à 16 conducteurs téléphoniques ; les consoles extrêmes du cadre de gauche sont munies d'un prolongement percé d'un trou servant à maintenir les haubans des poteaux d'angles.

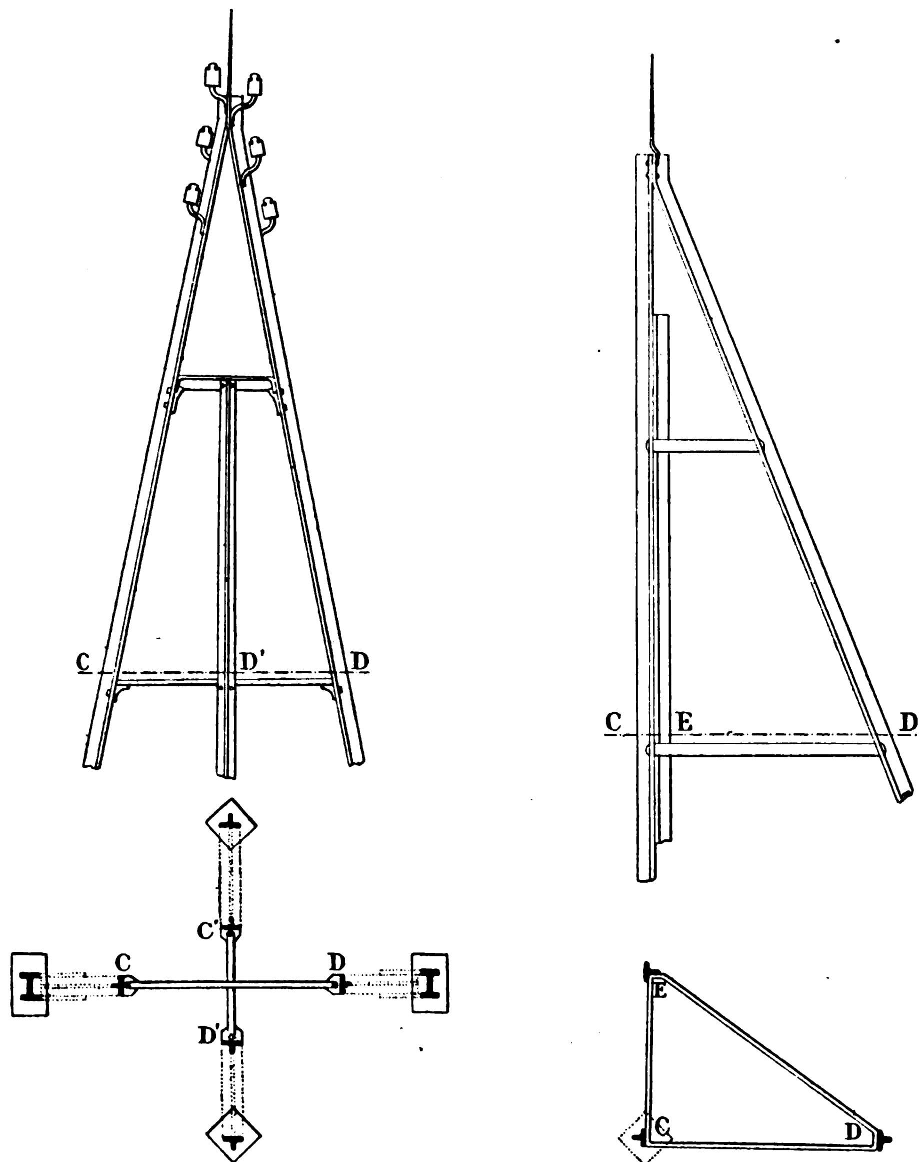


Fig. 17 et 18. — Pyramides quadrangulaires et triangulaires pour bifurcation.

La traversée des rivières s'effectuait au début par câbles fluviaux; la température qu'ils éprouvent pendant le transport compromet leur isolation et les changements continuels des lits des fleuves empêchent leur relèvement. On a évité ces inconvénients en effectuant la traversée par fils aériens soutenus sur les deux rives par des pylônes ayant de 23 à 60 m de hauteur. La construction de ces pylônes est uniforme dans ses grandes lignes : quatre fers à double T, profondément scellés dans des blocs de béton, servent d'amorce à une pyramide à base carrée dont les arêtes sont constituées par

des fers à T de 8 m de longueur et de profil décroissant avec la hauteur à laquelle on les place. Ces arêtes sont réunies par des croisillons en fer plat ou en cordage de fils de fer. Au sommet de la pyramide on fixe une flèche formée par deux fers à T, rivés plat sur plat; des marche-pieds, placés alternativement d'un côté et de l'autre, permettent d'accéder jusqu'aux isolateurs et au paratonnerre à plusieurs pointes (fig. 20). De

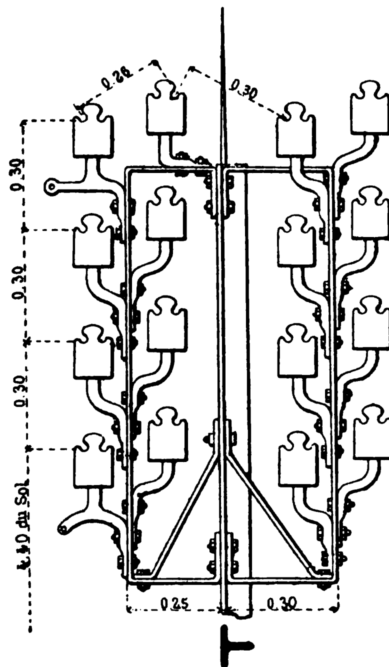


Fig. 19. — Têtes de poteau à 16 conducteurs téléphoniques.

solides haubans le consolident et s'opposent à la chute du pylône sous la poussée du vent (fig. 21). Pour éviter les mouvements de rotation que les haubans de consolidation seraient impuissants à empêcher, on établit, au-dessous de la flèche, une hune constituée par des barres de fer dont la réunion forme une croix à bras très allongés (fig. 22) des extrémités de chacun desquels partent deux câbles descendant obliquement, l'un à gauche, l'autre à droite, et venant se fixer au sol (fig. 23). Le raccordement de la ligne et du fil de traversée se fait au moyen d'une portée différentielle en fil d'acier de 2 mm; pour éviter qu'en cas de rupture de ce fil le fil de traversée glisse et tombe dans le fleuve chaque extrémité de ce dernier conducteur est solidement fixée sur deux isolateurs situés dans le même plan horizontal et sur chacun desquels le fil fait plusieurs tours. Grâce à l'uniformité des pièces, ces pylônes se montent très aisément sans échafaudage; une chèvre

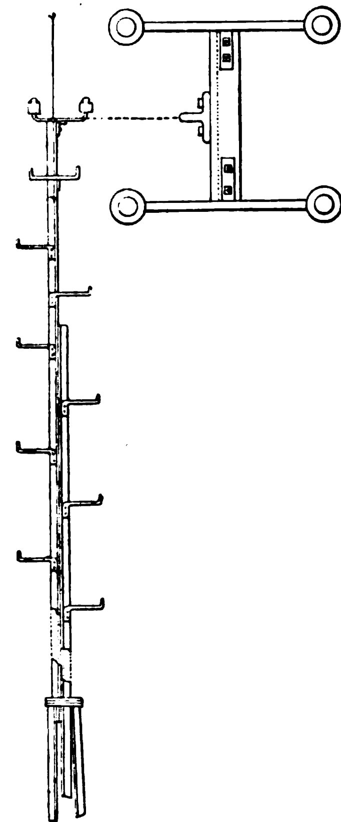


Fig. 20. — Flèche d'un pylône.

spéciale, facile à enlever après la pose, sert à mettre la flèche en place.

Au Tonkin, on remplace généralement, pour des hauteurs de 25 à 30 m, les pylônes par des appuis mâtés. Ces appuis mâtés sont constitués jusqu'à 8 m de la base par deux fers à T de 100/115, assemblés, plat sur plat, par des boulons servant aussi à maintenir les marche-pieds; au-dessus de 8 m on prend des fers de profils plus faibles montés de la même façon; l'assemblage de deux barres bout à bout se fait au moyen de bandes de fer plat de 1 m de long, s'appliquant de

chaque côté de la nervure et sur les deux ailes du fer (fig. 24). Le poteau est maintenu vertical au moyen de quatre jambes de force qui l'étayent à 5,5 m de sa base, et de 12 haubans placés, 4 par 4, à 10, 16 et 22 m du sol. Un cercle en fer plat, fixé à 2 m du sommet,

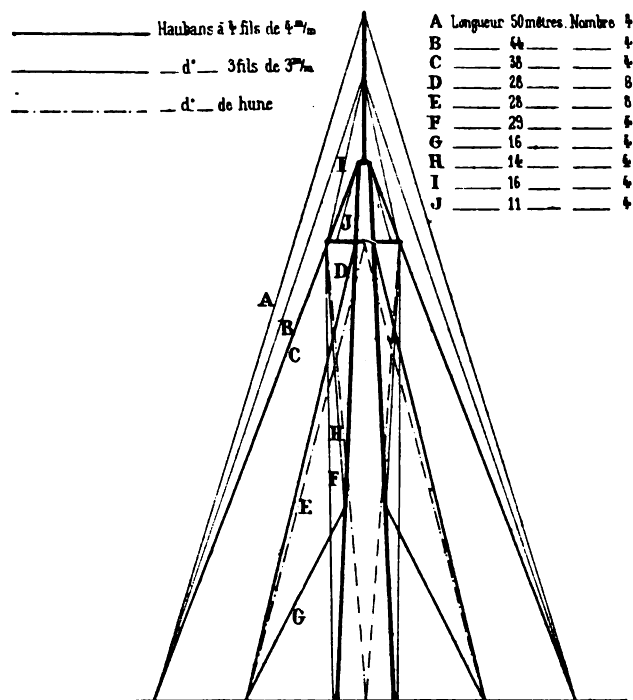


Fig. 21. — Ensemble des haubans.

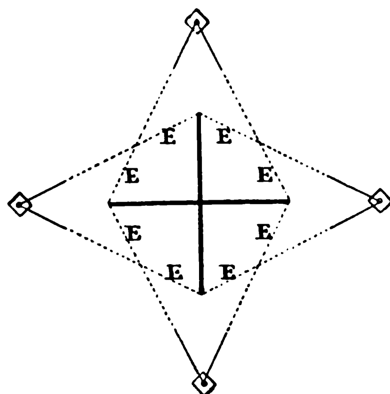


Fig. 23. — Projection horizontale de la hune et des haubans.

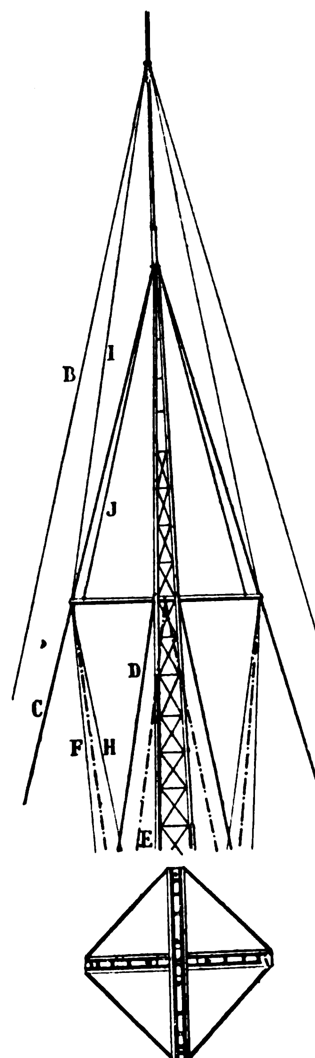


Fig. 22. — Hune d'un pylône.

permet au surveillant de placer les isolateurs et de tendre les fils.

D'après le rapport de M. Brou, directeur des télégraphes du Tonkin et de l'Annam, le prix de revient d'un kilomètre d'appuis, en fer, posés et prêts à recevoir les fils est de 295 francs et se décompose comme il suit :

14 poteaux de 6 m à 64 kg, soit 896 kg à 0,18 fr	161 fr
3 équerres pour haubans à 0,25	0,75 »
17 blocs en ciment à 4 fr	68 »
14 paratonnerres	5 »
Main-d'œuvre	60 »
Total	294,75 fr

Une ligne en bois construite dans les

mêmes conditions coûterait 114 francs, soit :

14 poteaux à 3,30 fr	46,20 fr
3 jambes de force à 3,30 fr	9,90
3 entretoises à 2,60 fr.	7,80
Main-d'œuvre	50,10
Total	114 » fr

La différence est à première vue considé-

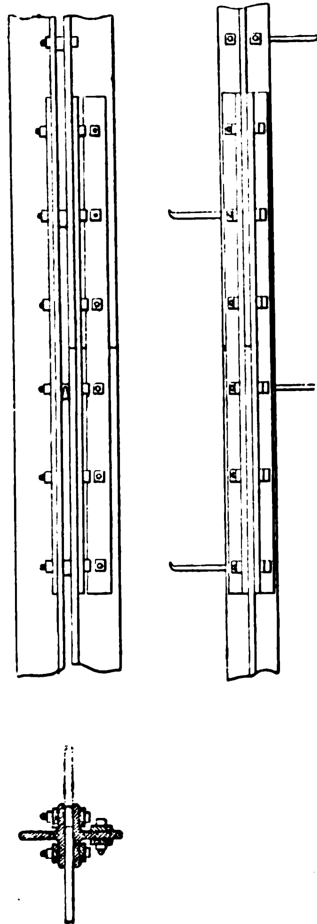


Fig. 24. — Raccordement de 2 barres d'un poteau mâté.

rable; mais si l'on compare les dépenses d'entretien des lignes en bois qui sont évaluées à 32 francs par kilomètre et par an, avec l'entretien des lignes en fer qui se borne à un coaltarage des appuis tous les deux ans, soit en y comprenant la main-d'œuvre, 3 francs à peine par kilomètre et par an, on arrive à ce résultat que le prix d'une ligne en bois aura, au bout de sept ans, atteint et même dépassé le prix d'une ligne en fer, tout en continuant à exiger un entretien dix fois plus onéreux que cette dernière.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du mercredi 2 juin 1897.

M. Claude présente quelques observations *sur le fonctionnement des lampes à arc à courant alternatif.* Pour qu'une lampe à arc fonctionne bien, il faut qu'une petite variation dans l'écart des charbons entraîne une variation considérable de la force attractive de l'électro-aimant de réglage. Dans les lampes à courant continu ce résultat est obtenu très facilement puisque, lorsque l'écart des charbons augmente, la différence de potentiel entre ceux-ci augmente aussi et que le courant passant dans l'électro en dérivation augmente proportionnellement à cette différence de potentiel. Toutefois, pour obtenir un réglage suffisant, on est conduit, comme on sait, à placer entre la source et l'arc une résistance de réglage, dont la valeur doit être souvent élevée, ce qui entraîne une perte d'énergie importante. A ce prix on obtient un excellent réglage.

Mais lorsqu'on envisage les lampes à courant alternatif, la question se complique par suite de la self-induction variable de l'électro-aimant. Si la différence de potentiel aux bornes des charbons augmente, l'intensité dans l'électro augmentera bien aussi; mais comme le noyau s'enfonce dans l'électro, la self-induction de celui-ci augmente, en sorte que l'intensité du courant de réglage ne croît pas proportionnellement à l'augmentation de résistance de l'arc.

Par exemple, lorsque l'électro commence à attirer son noyau, l'intensité du courant de

réglage est de 0,175 ampères et la différence de potentiel entre les charbons est de 30 volts; lorsqu'on provoque l'attraction complète du noyau en modifiant les conditions électriques du circuit, l'intensité du réglage devient égale à 0,230 ampère et la différence de potentiel entre les charbons est de 80 volts. L'intensité n'a donc augmenté que de 0,3 p. 100 tandis que la différence de potentiel a augmenté de 160 p. 100; en d'autres termes, l'intensité du courant de réglage croît 5 fois moins vite que l'augmentation de résistance de l'arc; si au lieu de considérer l'ensemble de la course, on examine ce qui se passe dans chaque partie de celle-ci, on voit que dans le dernier quart de la course l'intensité croît 10 fois moins vite que la résistance de l'arc.

Ces considérations expliquent pourquoi il est si difficile de trouver des lampes à arc à courant alternatif donnant un réglage satisfaisant et pourquoi on est conduit à donner à la résistance (ou mieux, puisqu'il s'agit de courants alternatifs, à l'impédance) de réglage une valeur très élevée.

Pour remédier à ces défauts, M. Claude propose de placer en série avec l'électro de réglage un condensateur de capacité appropriée; dans ces conditions, l'intensité de réglage pourra non seulement croître proportionnellement à la variation de résistance de l'arc, mais encore plus rapidement si la capacité est telle qu'on se trouve au delà de la résonance. M. Claude fait devant la Société une expérience pour prouver l'importance que peut prendre dans ces conditions le courant de réglage.

Cette variation rapide de l'intensité du courant de réglage peut devenir une cause d'instabilité de l'arc en provoquant des mouvements de trop grande amplitude et trop brusques, mais il est facile de s'affranchir de cet inconvénient en donnant au ressort antagoniste plus de force.

Il faut remarquer, en outre, que pour cette application spéciale, les objections qu'on fait d'ordinaire à l'emploi des condensateurs tombent d'elles-mêmes, car ces condensateurs ne devraient fonctionner que sous une différence de potentiel de 30 à 40 ou 50 volts au plus; on pourrait donc employer des diélectriques très minces et comme la capacité qu'on peut donner à un condensateur d'un volume donné croît en raison inverse de l'épaisseur du diélectrique, les dimensions du condensateur seraient très réduites; on donnerait à l'électro-aimant une grande self-induction afin de diminuer encore la capacité nécessaire, en sorte qu'un condensateur de 10 cm de diamètre et de 3 cm d'épaisseur serait amplement suffisant. Il pourrait se loger sans peine dans la lampe elle-même.

M. Arnoux présente ensuite les *voltmètres et ampèremètres enregistreurs à sensibilité variable* qu'il a inventés en collaboration avec M. Chauvin (1). Ces appareils sont basés sur les mêmes principes que les galvanomètres apériodiques des mêmes inventeurs et sur l'emploi des shunts gradués (2). Les perfectionnements ont porté principalement sur les dispositifs d'enregistrement.

Le frottement de la plume sur le cylindre enregistreur limite la sensibilité des appareils; après avoir essayé tous les dispositifs connus, qui n'ont pas donné satisfaction, les inventeurs ont adopté une disposition nouvelle très ingénieuse. La plume est remplacée par une molette; la substitution du frottement de roulement au glissement a permis de diminuer les frottements dans le rapport de 1 à 10. Le traceur est donc composé d'un petit réservoir cylindrique terminé à sa partie inférieure par un renflement sur lequel est fixé un couvercle; entre celui-ci et la partie inférieure du réservoir est prise une lame poreuse peu épaisse qui s'imprègne d'encre et trace les inscriptions. Ce traceur est pivoté sur chapes d'agate dans un petit cadre léger placé à l'extrémité de l'aiguille indicatrice.

(1) L'Exposition de la Société française de physique, par C. Raveau. — *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 47, 1er mai 1897.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. X, 161, 23 janvier 1897.

Dans les appareils enregistreurs ordinaires, le cylindre portant le papier est monté sur des engrenages intermédiaires, en sorte qu'il peut se produire un jeu très sensible pouvant atteindre souvent 2 mm et qu'il se produit aussi souvent un temps perdu à la mise en marche. Dans les appareils actuels, le cylindre est monté directement sur l'axe du barillet, ce qui évite ces inconvénients et en même temps permet de mieux utiliser la force du ressort.

Le cylindre est fendu suivant une de ses génératrices, afin qu'en pressant on puisse légèrement réduire son diamètre ; la feuille de papier divisé est gommée sur un de ses bords qu'on colle sur le bord opposé ; on obtient ainsi un large anneau de papier de diamètre égal à celui du cylindre; on l'introduit sur ce dernier lorsqu'il est serré, puis on lâche la targette qui le maintenait ; en se détendant pour reprendre son diamètre primitif, le cylindre tend le papier parfaitement. On obtient ainsi une bande continue qui permet d'enregistrer sur une seule feuille des phénomènes de grande durée, comme par exemple, la décharge des accumulateurs, lorsque les grandeurs à mesurer vont en croissant ou en décroissant régulièrement, afin que les lignes ne puissent se superposer.

Il est souvent nécessaire de donner au cylindre enregistreur des vitesses angulaires très différentes suivant la nature des grandeurs à mesurer. Les systèmes ordinaires de réglage ne pouvant satisfaire à ces conditions. MM. Arnoux et Chauvin ont adopté le régulateur suivant : sur l'axe du dernier mobile du rouage d'horlogerie est monté un petit disque d'aluminium qui tourne entre les branches d'un petit aimant permanent; en éloignant ou en rapprochant l'aimant du disque, on peut modifier la vitesse dans des limites très étendues : de 1 à 10.

Le rouage d'horlogerie est complètement enfermé, afin d'éviter que les vapeurs acides ne puissent l'attaquer lorsque l'appareil est placé près d'une batterie d'accumulateurs ; pour la même raison, toutes les pièces susceptibles de se corroder sont dorées.

Un grand avantage de ces appareils à cadre mobile dans un champ magnétique uniforme c'est que les divisions du papier enregistreur sont égales, en sorte qu'on peut facilement planimétrer les diagrammes avec un planimètre ordinaire.

M. Arnoux donne en terminant quelques détails sur les ressorts à spirale qui servent à suspendre le cadre mobile et à lui amener le courant. Il faut que ces ressorts soient à la fois de bons conducteurs du courant et qu'ils ne soient pas trop durs. On ne fabrique pas paraît-il, de spiraux en France; il faut les faire venir de Suisse. Mais aucun des ressorts achetés à différents fabricants ne pouvait répondre aux conditions posées ; les inventeurs ont donc été conduits à les fabriquer eux-mêmes; ils y sont parvenus par un petit tour de main très simple. Ces ressorts sont en bronze d'argent doré.

On se rend facilement compte des dimensions qu'il faut leur donner pour obtenir une résistance mécanique et une résistance électrique données. En effet, la résistance mécanique d'un ressort de longueur donnée I croît proportionnellement à largeur de la lame et au cube de son épaisseur, tandis que la résistance électrique croît comme le produit de la largeur par l'épaisseur de la lame. Pour qu'un ressort de longueur l, de largeur b, d'épaisseur h présente une résistance mécanique donnée et une résistance électrique aussi faible que possible, il faut augmenter la largeur aux dépens de l'épaisseur, de façon que le produit $b\ h^3$ soit constant.

M. Pérot présente ensuite un *voltmètre électrostatique d'étalonnage* fonctionnant à partir de 15 volts, qu'il a inventé en collaboration avec M. Fabry [1].

Cet appareil est basé, comme l'électromètre à anneau de garde de lord Kelvin, sur

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 278; 6 février 1897.

l'attraction de deux plaques parallèles voisines portées à des potentiels différents ; pour obtenir une très grande sensibilité, ils ont été conduits à rapprocher les plaques à une distance très faible : quelques centièmes de millimètre seulement. Cette disposition rendait très difficile la construction de l'appareil, car on obtient difficilement dans ces conditions des plaques métalliques présentant un parallélisme parfait ; elle rendait, en outre, la lecture des mesures très délicate. Les inventeurs se sont affranchis de ces difficultés en employant des lames de verre argenté parfaitement planées et bien parallèles, ce qui a permis, de plus, d'adopter pour la lecture une méthode optique très précise.

L'appareil se compose donc d'une première lame de verre fixe, placée à la partie inférieure de l'appareil et argentée sur sa face supérieure ; au-dessus d'elle est placée une seconde plaque de verre argentée sur ses deux faces ; elle est montée sur des ressorts à pincettes très puissants qu'elle tend lorsque, par suite de l'attraction électrique, elle est sollicitée vers la plaque inférieure. Elle est, en outre, fixée à un ressort supérieur, très sensible celui-là.

Ces deux plaques sont triangulaires et disposées en étoile afin de permettre leur montage.

Pour mesurer la différence de potentiel existant entre deux corps A et B on met chacun de ceux-ci en communication avec chacune des plaques respectivement. La plaque supérieure est attirée vers le bas, contre l'action des ressorts ; on la ramène à sa position primitive en tendant le ressort supérieur qui est, comme nous l'avons dit très sensible, afin de pouvoir mesurer les élongations avec une grande précision. On sait que la différence de potentiel entre les deux corps est proportionnelle à la racine carrée de la force qui les sollicite l'un vers l'autre, c'est-à-dire à la racine carrée de l'élongation du ressort ; il faudrait donc soit se servir de tables, soit effectuer des calculs pénibles pour déduire la différence de potentiel de l'élongation ; c'est pourquoi les inventeurs ont introduit dans leur appareil un dispositif mécanique qui extrait automatiquement les racines carrées et permet de lire directement sur une règle graduée en divisions égales, disposition très commode et qui permet, en outre, d'évaluer avec précision les fractions très petites des divisions.

La grande difficulté résidait dans la nécessité où l'on se trouvait de déterminer l'instant précis où la lame mobile était revenue à la position primitive, c'est-à-dire au zéro. C'est là qu'intervient la méthode optique.

Au-dessus de la lame supérieure est disposée une troisième lame de verre taillée en calotte sphérique et argentée à sa partie inférieure qui est courbe ; cette lame est fixe et disposée parallèlement au plan des deux autres ; lorsque la plaque mobile est au zéro, son écartement des deux lames fixes est rigoureusement égal. La couche d'argent disposée sur chaque lame est très mince afin d'être translucide. Faisons maintenant tomber un faisceau lumineux à rayons parallèles normalement au plan des lames et considérons la marche d'un des rayons : une partie traversera la plaque supérieure, se réfléchira sur la face supérieure de la plaque médiane, puis sur la plaque supérieure et après reviendra sur la plaque médiane qu'elle traversera ; une seconde partie traversera la plaque supérieure, la plaque médiane et viendra se réfléchir sur la face supérieure de la lame inférieure, puis sur la face inférieure de la lame médiane et retournera sur la face inférieure qu'elle traversera. Dans ces conditions il se produira des franges d'interférence partout où les chemins parcourus par les rayons seront inégaux ; la lumière blanche ne sera conservée que dans les points où les distances seront égales. On observe ces anneaux colorés dans une petite lunette et lorsque, l'appareil étant chargé, on obtient une disposition des franges identique à celle que l'on a lorsque l'appareil n'est pas chargé, on est certain que la lame mobile est revenue au zéro.

La manœuvre de cet appareil est relativement assez simple. La précision des mesures peut atteindre le dixième de volt.

M. Pérot a décrit en détail les organes de réglage. Nous ne pouvons y insister ici.

G. P.

Sur un système phosphorescent antianodique et les rayons anodiques ;

Par C. Maltézos [1].

« 1. On a vu [2] que, dans le tube-poire à vide, quand on prend pour cathode l'électrode de la partie étroite, il se montre devant l'anode de la lumière diffuse bleuâtre de peu d'étendue. Le fait curieux est que toujours, quand l'intensité du courant n'est pas très forte, il se montre à l'antianode [3] une tache semblable à la tache cathodique, mais moins lumineuse, se composant d'un cercle obscur et d'un anneau brillant. Cette tache devient plus nette, si l'on touche le tube avec la main, et elle ne provient pas du passage du courant inverse, car, dans ce cas, on aurait devant la cathode de la lumière anodique, ce qui ne se réalise pas.

» Si l'intensité du courant est un peu forte, ce système antianodique manque ; à la place de la tache noire centrale, on a une tache phosphorescente comme les autres parties voisines du tube, *mais le premier anneau brillant du système antianodique est remplacé par un anneau obscur* [4]. Cela s'explique par la fatigue du verre, mais il montre en même temps que le système antianodique est un phénomène du même ordre que le système anticathodique, quant aux résultats sur le verre.

» Si l'on touche le tube à la partie renflée, la lumière anodique se repousse, *mais il y a en même temps, sur l'anneau lumineux du système antianodique, concentration de phosphorescence en sens contraire du doigt ; c'est-à-dire vers la lumière anodique. Et, si l'on promène le doigt sur le tube, la concentration lumineuse se meut aussi sur l'anneau en sens contraire.* Nous en concluons que le système antianodique est intimement lié à la lumière anodique.

» 2. Ce système est l'origine d'un curieux phénomène dû à la condensation d'électricité par le tube à vide. En effet, si nous tenons le doigt sur le tube pendant son fonctionnement, et si, interceptant le courant, nous ôtons de suite le doigt, nous observons dans le tube un éclair ; si l'on fait attention, on voit que cet éclair a pour origine le système antianodique qui devient très phosphorescent à l'instant où l'on retire le doigt.

» Il y a plus, si l'on tient le doigt juste sur l'antianode et que l'on intercepte le courant, on obtient de même un éclair, un nouvel éclair, si l'on touche de nouveau au même endroit ; un troisième, quand, après éloignement, on y touche de nouveau et ainsi de suite. On peut ainsi obtenir cinq à six éclairs.

» 3. Si le système antianodique est un phénomène du même ordre que le système anticathodique, comme la fatigue du verre porte à le croire, est-ce que l'analogie ne se continue pas jusqu'à l'émission de la phosphorescence invisible, qui constitue le phénomène de Rœntgen ? Pour m'en convaincre, j'ai exécuté trois radiographies de clefs et d'autres pièces métalliques prenant pour foyer la région antianodique. La première a été faite avec un courant très fort et le système antianodique existait par le toucher du tube par le doigt ; la seconde, avec la même intensité et sans apparition du système antianodique ; dans les deux cas, on a obtenu des clichés très réussis, mais le premier l'est beaucoup mieux. Enfin, j'ai obtenu un cliché assez réussi avec une intensité très faible, le système antianodique étant visible, seule-

---

[1] *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 1147, séance du 24 mai.

[2] *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 1084. — *L'Eclairage Electrique*, t. XI, p. 466, 29 mai 1897.

[3] Juste à la partie de la paroi où se montre le système anticathodique, quand on intervertit le sens du courant.

[4] Si pourtant on touche le verre, surtout à l'antianode, on voit apparaître de nouveau le système antianodique.

ment la pose a été très longue (plus de quinze minutes).

» Cela indique, pensons-nous, l'existence, sous certaines conditions, *des rayons anodiques*, qui provoquent la phosphorescence visible et invisible du verre, et qui se diffusent ou n'arrivent pas jusqu'au verre dans la plupart du temps. »

L'élargissement des raies du sodium par un champ magnétique intense;

Par A.-St.-C. Dunstan, M.-E. Rice et C.-A. Kraus [1].

Pour étudier la lumière émise par une flamme de sodium placée dans un champ magnétique intense les auteurs ont utilisé le dispositif employé par Michelson dans sa comparaison du mètre à la longueur d'onde d'une radiation. La lumière d'une flamme A (fig. 1), placée entre les pièces polaires d'un électro-aimant B et dans laquelle on met un morceau d'amiante imprégné d'une solution concentrée de soude caustique, est rendue légèrement convergente par une lentille C et tombe sur une glace à demi argentée D. Là elle se sépare en deux faisceaux; l'un se réfléchit sur le miroir E pouvant être mu par une vis micrométrique H; l'autre se réfléchit sur un miroir fixe F et traverse deux fois une lame de verre inclinée de même épaisseur que D; les deux faisceaux viennent ensuite passer dans la lunette G où ils donnent des franges d'interférences circulaires. Si l'on éloigne le miroir E, la différence de marche des deux faisceaux augmente et les franges deviennent périodiquement plus ou moins distinctes ou « visibles », passant par une série de maxima et de minima.

La « visibilité » étant définie par le rapport entre la différence des intensités I et I' d'un anneau brillant et d'un anneau obscur et la somme de ces intensités,

$$V = \frac{I - I'}{I + I'},$$

Michelson a montré que cette quantité, déterminée aux maxima observés pour des différences de marche croissantes, est reliée à cette différence de marche par la formule

$$V = 2^{-\frac{x^2}{\Delta^2}},$$

où x est la différence de marche exprimée en millimètres et Δ la différence de marche pour laquelle V tombe à la moitié de sa valeur initiale; il a de plus montré que Δ est en raison inverse de l'épaisseur de la raie spectrale donnée par la radiation observée.

Il résulte de cette dernière remarque que

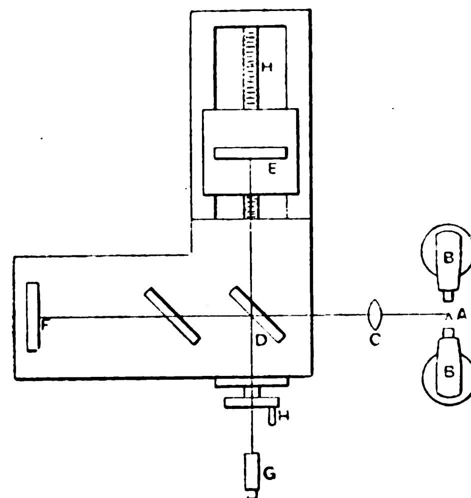


Fig. 1. — Disposition de l'appareil.

l'élargissement des raies par un champ magnétique doit avoir pour effet d'accroître la diminution de V quand x croît; de là un nouveau moyen de mettre en évidence l'élargissement des raies.

En portant en abscisses les différences de marche et en ordonnées les visibilités trouvées dans leurs expériences, les auteurs ont obtenu les courbes de la figure 2; la courbe 1 se rapporte au cas où l'électro-aimant n'est pas excité, la courbe 4 à celui où l'électro-aimant produit un champ d'environ 12 000 unités C. G. S., les deux autres des champs de valeurs intermédiaires; la comparaison des courbes 1 et 4 permet de conclure que l'épaisseur des deux raies du sodium varie

(1) *The Electrical World*, de New-York.

dans le rapport de 1 à 1,7 quand on passe du champ nul au champ le plus intense produit dans les expériences.

L'influence du champ est très marquée quand une différence de marche de 10 à 18 mm est atteinte : les franges, très distinctes quand l'électro-aimant n'est pas excité, disparaissent complètement quand on lance le courant. Pour la production de ce phénomène il n'est

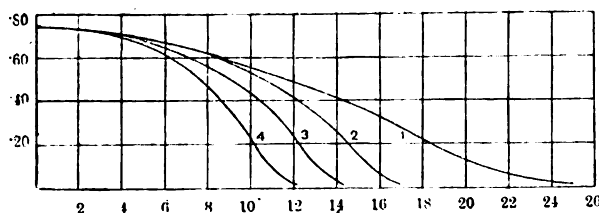


Fig. 2. — Courbes de visibilité.

pas besoin de prendre d'autres précautions que les précautions ordinaires nécessaires pour avoir des franges nettes.

Dans ces expériences les visibilités des franges étaient estimées à l'œil sans faire de mesures d'intensité, mais les résultats obtenus sont tellement nets que les auteurs n'hésitent pas à les regarder comme une confirmation de la découverte de Zeeman.

Dans ces recherches les auteurs ont également observé un phénomène intéressant : à cause de la grande self-induction du circuit de l'électro-aimant, le courant met un temps très appréciable (1 seconde environ) pour atteindre son intensité maxima ; par suite le champ magnétique produit croit lentement et les franges deviennent graduellement moins visibles. Les auteurs pensent qu'au moyen d'un dispositif stroboscopique il serait possible d'utiliser ce phénomène pour déterminer la courbe d'établissement du courant dans un circuit inductif ; ils se proposent de continuer leurs recherches dans ce sens. J. B.

Sur la déperdition de l'électricité d'un conducteur dans l'air et sur l'influence qu'une élévation de température du conducteur exerce sur ce phénomène ;

Par A. Oberbeck [1].

Un corps conducteur, porté par une tige d'ébonite, est relié à l'armature interne d'une petite bouteille de Leyde et à un électromètre de Braun, sur lequel on peut lire le potentiel du système électrisé : cet électromètre a été étalonné par comparaison avec une balance électrostatique.

De ce premier conducteur, on en approche un autre relié au sol, qui reçoit par influence une charge mesurable. Ce conducteur est dans l'espèce un fil de platine que traverse un courant électrique et qui peut ainsi être porté facilement à des températures élevées. La différence de potentiel que ce courant établit entre les extrémités du fil est tout à fait négligeable en regard des différences considérables créees par le champ. Le fil est tendu entre deux bandes de cuivre, fixées à une plaque d'ébonite : celle-ci repose sur le chariot d'une machine à diviser et ses déplacements peuvent être mesurés sur la machine à 1/100 mm près.

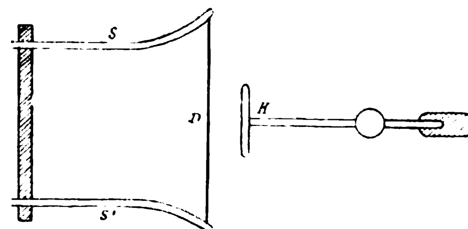


Fig. 1.

Le conducteur isolé est un disque de cuivre K, qui fait face au fil D (voir la figure) et peut être déplacé parallèlement à lui-même.

Quand on approche le fil du conducteur isolé, le fil s'électrise par influence et lorsque la densité électrique acquiert une certaine valeur limite, cette charge s'écoule à travers

[1] *Wied. Ann.*, LX, p. 193-209, 1897.

l'air vers le conducteur isolé, dont le potentiel commence à baisser. On mesure chaque fois les valeurs du potentiel pour une distance déterminée du fil. En manœuvrant la vis de la machine on s'arrange de manière que, pendant toute la série des expériences, l'état du champ électrique ne diffère que très peu de l'état d'équilibre.

En appelant V_1 le potentiel supposé constant dans la région du champ où se trouve le fil, la densité électrique sur la surface de ce dernier sera :

$$\delta = -\frac{V_1}{4\pi\rho \log \frac{l}{\rho}}.$$

Quand on connait le potentiel V_0 du conducteur isolé, la théorie du potentiel fournit le moyen de calculer V_1 quand le conducteur a certaines formes simples, le calcul se fait surtout facilement quand le conducteur a la forme sphérique ou ellipsoïdale : un disque circulaire mince peut être regardé comme la limite d'un ellipsoïde de révolution infiniment aplati.

S'il s'agit d'une sphère :

$$V_1 = \frac{V_0 R}{r},$$

R étant le rayon de la sphère et r la distance du point considéré au centre de la sphère. Dans le cas du disque, le potentiel au point de l'axe situé à la distance x du centre a pour valeur :

$$V_1 = V_0 \left\{ 1 - \frac{2}{\pi} \text{arc tang} \frac{x}{R} \right\}.$$

La valeur de V_1 diminue quand on approche le fil, mais cette diminution est assez faible : il est possible qu'elle soit due seulement à la réaction exercée par le fil sur le conducteur, réaction dont le calcul ne peut tenir compte qu'imparfaitement. Cependant, comme première approximation, on peut calculer cette réaction, en supposant la charge répartie sur le fil comme si elle était d'elle-même en équilibre. Si l est la longueur du fil, ρ son rayon (très petit vis-à-vis de l), on a, dans le cas de la sphère :

$$V_1 = \frac{RV_0}{x\left[1 - \frac{\pi R}{2x \log \frac{l}{\rho}}\right]},$$

et pour le disque circulaire :

$$V_1 = \frac{V_0\left[1 - \frac{2}{\pi} \text{arc tang} \frac{x}{R}\right]}{1 - \frac{R}{x \log \frac{l}{\rho}}}.$$

La température du fil est évaluée d'après la variation de sa résistance. Les mesures sont répétées avec des sphères et des fils de différents diamètres et la comparaison des résultats conduit aux conclusions suivantes :

A la température ordinaire le potentiel de décharge dépend du diamètre des fils : plus le fil est fin, plus le potentiel s'abaisse. C'est ce que M. Jaumann a trouvé déjà et les valeurs du potentiel données par lui sont du même ordre de grandeur que les valeurs indiquées par M. Oberbeck.

Le potentiel de décharge est plus petit quand on emploie des sphères que si on emploie des disques : ce fait paraît dépendre de la distribution des lignes de force.

A la température ordinaire les potentiels de décharge pour les deux électrisations de signe contraire sont peu différents.

L'élévation de température du fil agit de deux manières ; elle abaisse le potentiel de décharge pour les deux électrisations ; en outre, elle augmente la différence entre les potentiels de décharge correspondant aux deux signes d'électrisation, le potentiel étant toujours plus faible pour l'électrisation positive.

Les mêmes expériences ont été faites dans l'air raréfié, à cela près qu'on ne pouvait plus faire varier la distance du fil au conducteur. Les phénomènes ne sont pas essentiellement changés : seulement, comme on le savait déjà, les potentiels de décharge diminuent en même temps que la pression du gaz, d'abord

également pour les deux électrisations, puis aux basses pressions, plus fortement pour l'électrisation positive. L'élévation de température produit le même effet et on peut dire en résumé que l'électricité négative s'écoule du fil, aux températures élevées, plus facilement que l'électricité positive. M. L.

Potentiels de décharge des pointes dans l'air et dans l'hydrogène;

Par K. Wesendonck [1].

La méthode expérimentale employée par l'auteur consiste à faire se décharger la pointe dans une enceinte métallique qui l'enveloppe entièrement et qui est reliée au sol par l'intermédiaire d'un galvanomètre.

L'enceinte métallique est formée d'un cylindre en laiton de 12 cm de diamètre, terminé à sa partie inférieure par une hémisphère et fermé hermétiquement à la partie supérieure par un couvercle soudé (fig. 1). Le tout repose sur un pied UV en laiton, noyé dans un bloc de paraffine. Avant de souder le couvercle, on a passé l'intérieur du vase au papier d'émeri et on l'a essuyé avec un linge propre, ne laissant pas de filaments. Dans le couvercle sont pratiquées trois ouvertures, sur les bords desquelles on a soudé trois cônes d'acier creux (H, J, K). Sur la base de ces cônes sont passés des bouchons de caoutchouc, qui reçoivent des cylindres de verre; dans ces cylindres on verse du mercure de manière à fermer les joints des tubes de verre *f*, *g*, *h*, ajustés sur les cônes d'acier, sans employer de graisse. Le tube *f*, communique avec un appareil à laver et à sécher les gaz, le tube *h* avec un baromètre et avec une soupape à acide sulfurique, isolée de l'extérieur par deux robinets de verre : de ce côté on peut faire le vide dans l'appareil. A la tubulure *g* est soudée un petit tube de verre $\alpha\beta$ fermé à son extrémité inférieure, dans laquelle est scellé un petit fil de platine. A ce platine est soudée par de l'aluminium une aiguille dorée, dont la pointe se trouve à peu près exactement au centre de l'hémisphère. Cette aiguille se trouve ainsi dans une enceinte métallique presque complètement fermée et à toute quantité d'électricité qui entre dans cette enceinte doit en correspondre une quantité autant dire égale qui s'écoulera par le fil

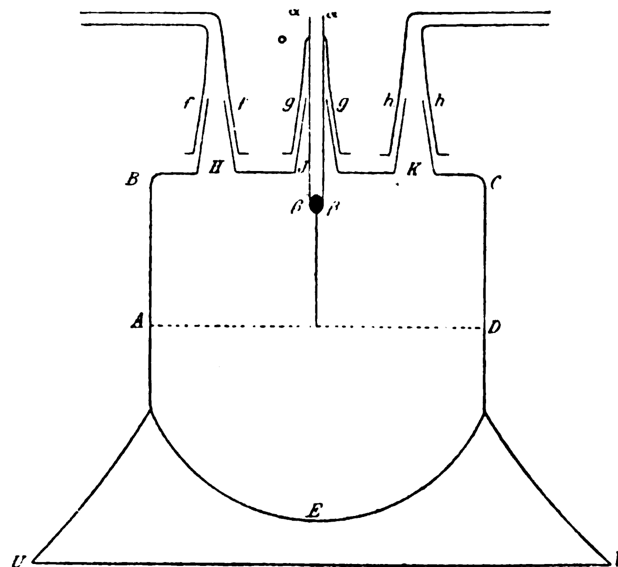


Fig. 1.

reliant l'enceinte au sol. Avant l'expérience, on fait séjourner l'aiguille quelque temps dans l'éther de pétrole, pour la débarrasser des matières grasses, dont la présence fait varier la valeur du potentiel de décharge.

Le tube $\alpha\beta$ renferme du mercure dans lequel plonge un fil qui aboutit à une batterie de quatre grandes bouteilles de Leyde; cette batterie se charge au moyen d'une machine de Voss, enfermée dans une caisse métallique reliée au sol et d'ailleurs aussi éloignée que possible du reste de l'appareil. La batterie est aussi reliée à un électromètre de Braun, étalonné de 500 en 500 volts jusqu'à 4 000 volts : pour avoir des mesures plus exactes on se sert d'un électromètre à quadrants de Thomson disposé de manière à se charger par influence et on compare ses incidations à celle de l'électromètre de Braun.

---

[1] *Wied. Ann.*, t. LX, p. 209-230. 1897.

Les deux instruments n'offraient une concordance satisfaisante que si on supprimait la communication métallique entre la machine et la batterie, en la remplaçant par un ruban de fil. Mais pour accélérer la charge, on supprimait la communication métallique seulement au moment où l'électromètre de Braun marquait 500 volts de moins que le potentiel cherché.

L'un des observateurs suit la marche de l'électromètre Thomson, un autre celle du galvanomètre tandis qu'un aide tourne la machine. Au moment où l'électricité commence à s'écouler par la pointe, le galvanomètre éprouve un choc brusque, d'intensité variable, mais très nettement distinct des mouvements dus aux secousses accidentelles. La déperdition commence donc brusquement et avec une intensité notable : on arrête l'expérience aussitôt que possible pour éviter la corrosion de la pointe.

Les expériences ont porté sur l'air et sur l'hydrogène.

L'hydrogène préparé au moyen de grenaille de zinc pur et d'acide sulfurique pur, traversait, comme l'air, un appareil laveur et desséchant qui comprenait un tube à chaux sodée humide, un tube rempli de coton, un tube en V renfermant des perles de verre arrosées d'acide sulfurique, deux barboteurs avec une solution concentrée de permanganate de potassium, un barboteur avec une solution de potasse, deux autres avec de l'acide sulfurique chimiquement pur et enfin un tube à anhydride phosphorique. Toutes les parties de l'appareil étaient assemblées par des pièces rodées ou soudées, sans interposition de caoutchouc.

L'enceinte métallique a été remplie d'air à trois reprises, et les mesures effectuées avec ces trois masses d'air ont donné des résultats différents. Dans la première, le potentiel maximum et le potentiel minimum auxquels commence l'écoulement de l'électricité négative sont notablement différents ; la différence est plus petite lorsqu'il s'agit d'électricité positive. Dans la seconde série ces différences sont plus petites (l'appareil avait été rempli après avoir été vidé complètement). Dans la troisième série (l'enceinte métallique avait seule été vidée), on n'a pas trouvé non plus de grandes variations. Les tableaux suivants reproduisent du reste les résultats numériques.

L'indication *a* signifie que l'expérience a été faite lorsque la pointe n'avait pas été chargée depuis plusieurs heures; *a. n* ou *a. p* signifient respectivement que la pointe vient immédiatement auparavant de donner passage à un courant d'électricité négative ou positive; *a. i* que les expériences faites avec les deux électricités se suivent à une demi-heure d'intervalle.

		POTENTIEL de la décharge négative.			POTENTIEL de la décharge positive.	
		Maxim.	Minim.		Maxim.	Minim.
		Volts.	Volts.		Volts.	Volts.
(I)	*a.*	2340,7	1740,8	*a.*	2573,2	2557,2
	a. i.	2426	2252	*a. i.*	2531,1	2492
	a. p.	2184,9	2309	*a. n.*	2653,7	2512
(II)	*a.*	1972	1904,3	*a.*	......	......
	a. i.	1951	1832	*a. i.*	2403 2	2383,2
	a. p.	1928	1916	*a. n.*	2489,2	2332,7
(III)	*a.*	2155,4	2009,4	*a.*	2501,3	2380,7
	a. i.	2292	2081,1	*a. i.*	......	......
	a. p.	2152	2068	*a. n.*	2495,1	2376,7

Dans l'hydrogène, on observe ce fait surprenant que l'écoulement de l'électricité négative est beaucoup plus fort que celui de l'électricité positive, sans que cependant le potentiel de décharge négative soit beaucoup inférieur au potentiel de décharge positive. Ces potentiels sont du reste beaucoup plus petits que dans l'air. Ils varient entre — 1500 et — 1700 volts, entre + 1600 et + 1700 volts. D'autre part, la décharge négative se fait sous forme d'une série explosions, accusées par les oscillations de l'électromètre ; cependant on n'entend aucun crépitement, comme en produisent les étincelles ; il ne semble donc pas que des étincelles éclatent entre la pointe et son enceinte.

Quant à l'électricité positive, elle peut commencer à s'écouler sous un potentiel plus petit que l'électricité négative, mais son débit reste toujours bien inférieur.

Lorsque l'hydrogène et l'air sont mélangés, le potentiel de décharge négative reste relativement élevé comme dans le gaz pur, et cette influence de l'hydrogène subsiste jusqu'à ce que le mélange ne contienne plus qu'une faible quantité de ce gaz. Dans le mélange, l'hydrogène paraît donc déterminer le commencement de la décharge.

M. L.

Charge oscillante des condensateurs ;

Par H. Tallqvist [1].

M. Tallqvist a étudié expérimentalement la charge oscillante des condensateurs : le seul point nouveau de son travail est d'avoir considéré les phénomènes de charge au lieu des phénomènes de décharge, dont se sont préoccupés jusqu'à présent les nombreux expérimentateurs qui l'ont précédé dans ces recherches.

Il reproduit d'abord les calculs qui conduisent à l'intégration de l'équation de Thomson ; les formules sont d'ailleurs les mêmes pour la charge et pour la décharge, abstraction faite des constantes.

La partie essentielle de l'appareil est le pendule interrupteur dont le principe est emprunté à Helmholtz. Ce pendule heurte successivement deux contacts ; le premier est fixe et ferme le circuit de charge du condensateur ; le second, qui peut être déplacé, ouvre le circuit. Le condensateur se charge ainsi pendant un intervalle de temps dont la durée dépend de la position du second contact : cette durée se calcule d'après l'équation qui donne la vitesse du pendule, en fonction de l'amplitude et de la période des oscillations. Le calcul peut se faire rigoureusement par l'emploi des fonctions elliptiques. Le circuit de charge renferme une spirale de fil de cuivre assez gros (4 mm) qui possède avec une résistance assez faible un coefficient d'induction propre relativement grand ; ces conditions sont favorables à la production des oscillations lentes.

Les condensateurs employés sont des microfarads à lame de mica. Le premier, de Latimer Clark comprenait les quatre divisions ; 0,4, 0,3, 0,2 et 0,1 microfarad ; le second, de Carpentier, les quatre divisions : 0,5, 0,2, 0,2, 0,1 microfad. Ces condensateurs ne gardaient que très peu de charge résiduelle, 0,2 ou 0,3 p. 100 une minute après la décharge, lorsqu'ils avaient été chargés en 4 secondes.

Après avoir été chargés, comme il a été dit, ces condensateurs sont déchargés à travers un galvanomètre balistique, du système Deprez-d'Arsonval. Ce galvanomètre était étalonné, avec ses shunts, par des expériences préliminaires dans lesquelles on mesurait les potentiels de charge au moyen d'un voltmètre Weston.

Pour obtenir la charge normale, on charge directement le condensateur en maintenant le pendule dans la position où le circuit est fermé.

On construit les courbes en prenant pour abscisse la durée de la charge et pour ordonnée la valeur de la charge. Quand les courbes sont tracées, on détermine la période T en mesurant la distance des points d'intersection avec la courbe de la droite parallèle à l'axe des abscisses, qui représente la charge normale.

Pour déterminer l'amortissement des oscillations, il importe de connaître le sommet des ondes de la courbe ; on reconnaît ces points expérimentalement à ce que la charge est maximum et par suite diminue quand on déplace un peu le contact mobile dans un sens ou dans l'autre. De la valeur des charges mesurées en ces points, il est facile de déduire l'amortissement des oscillations, d'après la formule connue :

$$A_n = Qe^{-\frac{R}{4L} n \frac{T}{2}},$$

[1] *Wied. Ann.*, t. LX, p. 248-269, 1897.

A_n étant la valeur absolue de la charge qui correspond au n^e sommet.

Les résultats expérimentaux s'accordent avec les prévisions théoriques et la forme des courbes est bien celle des sinusoïdes amorties, à part une petite différence due à l'hystérésis diélectrique.

Il y a lieu aussi de comparer la durée d'oscillation T calculée par la formule

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

quand $\left(\frac{R}{2L}\right)^2$ est négligeable vis-à-vis de $\frac{1}{LC}$, à la durée que donne l'expérience. L'auteur a effectué dans ce but trois séries de mesures, dans chacune desquelles deux des trois quantités R, L, C restaient constantes, pendant qu'on faisait varier la troisième; les résultats sont bien conformes à ceux qu'on devait prévoir.

La mesure de la durée d'oscillation dont il a été question, équivaut en résumé à la comparaison d'une capacité et d'un coefficient de self-induction; elle permet de calculer l'une de ces deux quantités quand l'autre est connue. On peut également comparer ainsi deux coefficients de self-induction sans avoir du reste besoin de connaître la capacité.

M. L.

Sur la conductibilité électrolytique des corps solides;

Par C. Fristch (1).

Les substances solides dont il s'agit sont les mélanges auxquels on a donné le nom de *dissolutions solides*.

La conductibilité de ces substances été mesurée par la méthode de substitution : la

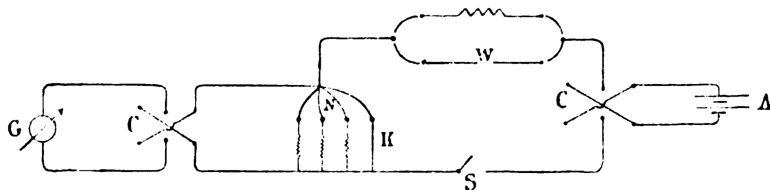


Fig. 1.

disposition de l'appareil est représentée schématiquement par la figure 1.

En G se trouve un galvanomètre Thomson à miroir, muni d'un équipage astatique de Carpentier; ce galvanomètre est en dérivation sur le circuit, qui renferme en outre un certain nombre d'accumulateurs A, un disjoncteur S, un commutateur C à godets de mercure et enfin la substance à étudier W. Au galvanomètre est joint une série de shunts N, au moyen desquels on peut utiliser la sensibilité totale ou seulement 1/10, 1/100 et 1/1000 de cette sensibilité. Avant chaque série de mesures, on calibre le galvanomètre en remplaçant la substance par une résistance de 10^5 ohms.

Comme prises de courant, on emploie deux forts ressorts de montre qui sont posés sur une lame de mica de telle sorte qu'ils portent la préparation sans forcer; par-dessus se trouvent deux petites calottes de clinquant, frottées de plombagine, qui assurent le contact avec la préparation, aussi enduite de plombagine, dans la plupart des cas. L'ensemble peut être chauffé dans un bain d'air, entre 10° et 180°.

Tout l'appareil de mesure repose sur du verre ou de la paraffine et la résistance d'isolement est trop élevée pour être mesurée par les méthodes usuelles.

Les substances ont été soumises aux expériences soit sous la forme de dépôt, soit sous la forme de plaques comprimées.

Dans le premier cas, on colle sur un verre de montre deux bandes métalliques (en argent s'il s'agit des sels d'argent, en plomb

(1) *Wied. Ann.*, t. LX, p. 300-314, 1897.

s'il s'agit des sels de plomb), qui serviront de prises au courant. Puis, ce verre de montre est placé au fond d'un verre à précipité, dans lequel on verse de l'eau contenant en suspension la substance. Lorsque celle-ci s'est déposée, on décante l'eau et on fait sécher le dépôt. Les substances qu'on veut mélanger à ce dépôt sont versées en solution par-dessus, après quoi on sèche de nouveau. Autrement, on comprime la substance dans un cylindre d'acier, entre deux plaques de métal qui servent en même temps de prises de courant ; auparavant, on enduit la substance d'huile de paraffine pour l'empêcher d'adhérer au métal. Pour ajouter les substances accessoires, on les fond avec la substance principale, ou bien on les broie ensemble après les avoir humectées d''eau distillée. Avant de comprimer, on sèche à 120° pendant 6 heures. Les plaques qui sont en contact avec la substance sont formées du même métal qui entre dans la composition de celle-ci : lorsqu'on opère sur les sels de mercure, elles sont remplacées par des lames de mica enduites de plombagine.

Les mesures ont porté :

1° Sur des dépôts de chlorure et de bromure d'argent, le chlorure de plomb avec adjonction de chlorure ou de bromure de sodium.

2° Sur des plaques comprimées de $PbCl^2$, $PbBr^2$, PbI^2, BbF^2, Hg^2Cl^2, $HgCl^2$, $HgBr^2$. HgI^2, $CuBr^2$, AgCl, AgI, Al^2O^3, ZnO, CdO et Bi^2O^3.

L'influence de la température a été étudiée sur :

3° Des plaques comprimées de $PbCl^2$, d'un mélange de $PbCl^2$ avec 1 p. 100 en poids de NaCl, du même mélange à 3 p. 100 de NaCl; sur $PbBr^2$, fondu ; sur $PbBr^2$ pulvérisé et comprimé ensuite ; PbI^2, PbI^2 avec 1/200 de KI, PbI^2, avec 2 p. 100 de KI ; PbF^2, PbF^2, avec 2 p. 100 de KF.

4° Sur SiO^2 pur ou mélangé de ZnO, CdO, Bi^2O^3, Al^2O^3, KF.

5° Enfin on a étudié aussi ZnO, CdO, PbO, Al^2O^3, Bi^2O^3, CuO, MgO soit comme substance principale, soit comme substance accessoire ajoutée à l'un d'eux.

D'une manière générale, la conductibilité électrolytique des substances mélangées d'une petite quantité d'un corps est notablement plus élevée que celle des substances pures. Tandis que les substances pures ne conduisent que fort mal, celles qui sont mélangées conduisent relativement bien.

En ce qui concerne la température, les substances pures, comme les substances mélangées, conduisent mieux aux températures élevées qu'aux températures basses.

La différence entre la conductibilité des substances pures et celle des substances mélangées subsiste aux températures élevées comme aux plus basses ; en général, il y a moins de différence entre les coefficients de température qu'entre les conductibilités elles-mêmes. Lorsque la substance principale est la silice, les différences entre les conductibilités de la substance pure ou impure sont moins grandes que dans le cas des sels de plomb, d'argent, etc.; ceci est dû, sans doute, à la moindre plasticité de la silice.

Les variations de conductibilité que provoque l'addition à une même substance de divers oxydes sont du même ordre de grandeur : mais ces variations ne paraissent pas suivre de loi régulière.

En résumé le fait principal est que l'addition d'une petite quantité d'un sel à une grande quantité d'un autre sel suffit dans beaucoup de cas à accroître notablement la conductibilité électrolytique de ce dernier. Ce phénomène peut s'expliquer en attribuant à ces *solutions solides* quelques propriétés des solutions liquides ; il faudrait admettre, par exemple, que le dissolvant solide $PbCl^2$ décompose en ses ions la petite quantité de KCl qu'on lui ajoute et que ses ions transmettent le courant. Si $PbCl^2$ est déjà auparavant dissocié, son état de dissociation n'est pas sensiblement altéré par l'addition de KCl, pas plus que l'état de dissociation de l'eau pure n'est altéré par l'addition d'un électrolyte; de même la résistance au mou-

vement des ions, qui dépend de la plasticité de $PbCl^2$, est à peine influencée par l'addition de KCl. M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Theorie und Praxis der analytischen Electrolyse der Metall; par Bernhard NEUMANN. (Théorie et pratique de l'analyse électrolytique des métaux.) — 1 vol. de 224 p. avec 65 fig. dans le texte. — *W. Knapp*, éditeur, Halle, a. S. 1897.

Grâce aux travaux consciencieux effectués dans ces vingt dernières années par un grand nombre d'auteurs, la chimie se trouve actuellement en possession d'une nouvelle méthode analytique, basée sur l'électrolyse et dont les perfectionnements ne cessent de croître.

Par la simplicité et l'élégance de ses procédés, par la sûreté de ses résultats, l'analyse électrolytique est destinée à s'introduire à bref délai dans tous les laboratoires et à remplacer peu à peu les vieux procédés, souvent si longs, de précipitation et de séparation de métaux.

Le livre de M. Neumann est un de ceux qui inspirent le goût des nouvelles méthodes et qui contribueront le plus à les propager. Il se compose de trois parties essentielles.

Dans la première (p. 1 à 33) on rappelle au lecteur les définitions, les lois de l'électrolyse avec la notion d'équivalents électrochimiques (pourquoi a-t-on pris ici pour base le nombre inexact de $O=15,96$?), — puis entrant résolument dans les théories modernes de l'indépendance des ions, l'auteur nous fait connaître en quelques pages les idées de Van t'Hoff et d'Arrhénius sur les solutions; il traite ensuite la constitution des électrolytes, la migration des ions, la conductibilité. Il insiste tout spécialement sur la théorie de la séparation successive des divers métaux que l'on peut réaliser en faisant varier la concentration des solutions, la température et surtout la densité du courant.

Le second chapitre du livre (p. 34 à 95) comprend une description courte mais claire et précise des divers modèles de piles et accumulateurs, et des éléments thermo-électriques; après quelques données sur les dynamos on passe aux instruments de mesure, voltamètres et boussoles, ampèremètres et voltmètres; on décrit le maniement du courant et l'installation commode et rationnelle des appareils.

La dernière partie de l'ouvrage est d'ordre technique. Quelques pages sont d'abord consacrées à la description des diverses formes d'électrodes pour analyse, puis on étudie successivement (p. 105 à 160) les conditions dans lesquelles s'effectue la précipitation pratique et quantitative des divers métaux; dans les solutions de leurs sels *purs*, c'est-à-dire l'influence du milieu acide ou basique, de la concentration, de la température, de la force électromotrice, de la densité du courant — toujours exprimée en ampères par décimètre carré d'électrodes.

Le lecteur ainsi familiarisé avec l'allure particulière de chaque métal comprend sans peine comment on arrive ensuite à les séparer les uns des autres.

L'auteur consacre un chapitre important (p. 160 à 199) à cette séparation qui ne peut du reste pas toujours s'effectuer entièrement par l'électrolyse seule et il termine son livre (p. 200 à 216) par une série d'exemples pratiques consacrés principalement à l'analyse des alliages.

Il n'est pas inutile d'ajouter que l'on trouve, en notes, une bibliographie soignée de tous les travaux cités, ce qui permet de remonter facilement aux sources, en cas de besoin.

En résumé, le livre de M. Neumann peut être chaudement recommandé à tous ceux qui voudront recourir aux procédés si commodes de l'analyse chimique par électrolyse. P.-TH. MULLER.

CHRONIQUE

Résultats d'exploitation, pour l'exercice 1896, du secteur de la Compagnie parisienne de l'électricité et de l'air comprimé. — Le rapport de 1895 avait indiqué le programme que la Compagnie s'était tracé pour le développement de la production et de la distribution d'énergie électrique; mais pour diverses raisons les nouveaux moyens de production et les nouvelles canalisations à cinq fils n'ont pu être mis en service d'une façon définitive avant le mois d'avril 1896. L'exploitation a donc eu à supporter, pendant l'année 1896 encore,

les charges des anciennes installations appelées à disparaître.

L'exercice 1896 s'est achevé en voyant complètement en marche industrielle l'usine du quai Jemmapes avec ses trois groupes de 1 200 chevaux chacun ; la sous-station de la rue Mauconseil fonctionnait également et le réseau à cinq fils du quartier des Halles était relié à cette sous-station par dix sous-feeders et à l'usine du quai Jemmapes par deux feeders de 1 000 mm² de section.

La sous-station de la rue Saint-Roch a maintenant pris une importance prépondérante dans le système de distribution par suite de la suppression des nombreuses autres sous-stations existant avant les modifications du système. Elle reçoit maintenant du courant de l'usine du quai Jemmapes par deux feeders semblables à ceux de la station de la rue Mauconseil, tout en utilisant ses transformateurs, qu'alimentent les courants à haute tension provenant des usines Saint-Fargeau et Richard-Lenoir, et qui ont même été augmentés d'un quatrième groupe formé par les transformateurs des anciennes sous-stations.

La Compagnie a pu étendre le programme de transformation primitivement élaboré ; l'usine des Jeûneurs étant supprimée, le réseau du Sentier, établi précédemment à trois fils, a été relié par un sous-feeder à la sous-station Mauconseil et disposé de façon à rentrer dans le système général de distribution à cinq fils. Toutes les canalisations s'étendant au pourtour des Marais ont été également modifiées dans le même ordre d'idées. Elles sont maintenant alimentées directement par l'usine Richard-Lenoir et la sous-station Mauconseil, aidées des sous-stations Franche-Comté, Malher et Verrerie dont les transformateurs et les batteries ont été couplées de façon à débiter en accord avec la distribution générale. Ces dernières transformations ont eu pour résultat immédiat, l'amélioration de l'éclairage de ces parties du secteur laissées jusqu'alors sans liaison avec le réseau général.

Enfin, des stations hors secteur qui, jusqu'à présent, avaient compliqué l'exploitation, il n'existe plus que celle du théâtre Cluny.

En résumé, l'ensemble de production et de distribution d'énergie électrique comprend actuellement les trois usines génératrices de Saint-Fargeau, Richard-Lenoir et de Jemmapes, et les cinq sous-stations déjà citées.

Le développement total des canalisations était au 30 janvier 1896 de 107 041,02 m répartis comme il suit :

	Longueur des canalisations. Mètres.	Développement total des câbles.
Circuits à haute tension. . .	19 986 »	39 972 »
Feeders à 2 conducteurs de 1 000 mm².	12 574,90	25 149,80
Sous-feeders à 5 conducteurs	11 373,20	56 866 »
» à 3 »	1 942,33	5 827 »
Réseau à 5 fils	45 491,69	227 458,45
» à 3 fils	5 672,90	17 018,70
» à 2 fils	1 000 »	2 000 »
Totaux . . .	107 041,02	151 291,95

Par suite du développement, la Compagnie a dû établir de nouveaux branchements en même temps que, pour réaliser à la fois une économie et une simplification, on a exécuté des colonnes montantes afin de pouvoir réunir les divers abonnés d'un immeuble sur le même branchement.

Au 30 juin 1896, il y avait en service :

	Nombre.	Équivalent en lampes de 16 bougies.	Nombre moyen de lampes par colonnes.
Branchements extérieurs	918	85 655	93
Colonnes montantes . .	246	18 037	74
Branchements sur colonnes	489	18 087	37
Abonnés reliés directement aux branchements	808	67 568	84

En ce qui concerne les compteurs, tous les anciens types en usage ont été remplacés par des compteurs Thomson, leur nombre était, à l'époque du présent recensement, de 1 381.

Le nombre total des abonnés était de 1 338 dont 1 297 en service. La répartition de l'énergie entre les premiers est donnée par le tableau ci-dessous :

	Nombre.	Équivalent en lampes de 16 bougies.
Lampes à incandescence. .	65 510	65 510
» à arc	1 885	15 080
Moteurs	44	3 120
Ascenseurs	36	3 040
Total.		86 750

Le nombre représentatif des lampes, en service normal au 30 juin 1896 équivaut à 85 655 de 16 bougies ou à 137 048 de 10 bougies.

Le produit net de l'exploitation du secteur électrique s'est élevé à 68 387,06 fr contre 153 277,01 fr.

en 1894-95. Par contre l'exploitation du réseau de distribution de l'air comprimé n'a produit que 98773,63 fr contre 122151,16 pendant l'exercice précédent.

Après l'exposé du bilan des comptes profits et pertes, pour l'exercice écoulé, l'Assemblée générale approuve les conclusions du rapport et réélit comme administrateurs, pour une période de 6 années MM. Ewald et Siegfried.

La corrosion électrolytique due au courant de retour des tramways. — Dans une conférence faite à la Société des Ingénieurs du Hainaut et reproduite dans les *Publications* de cette société (t. VI, 1er fasc. 1897, p. 14), notre collaborateur, M. S. Hanappe a résumé d'une façon à la fois claire et précise les nombreux travaux qui ont été publiés sur cette question. Après avoir étudié la distribution du potentiel le long du circuit de retour dans l'hypothèse d'une résistance uniforme de la voie par unité de longueur et d'une répartition uniforme des voitures et pour diverses dispositions de feeders de retour dans le cas de la distribution ordinaire et dans celui de la distribution à trois fils, l'auteur considère la règle des 5 volts de M. Monmerqué comme devant être adoptée en pratique, au moins momentanément et abstraction faite des conditions locales.

Passant ensuite aux dispositions employées ou proposées pour annuler, diminuer ou localiser la corrosion électrolytique, il les classe méthodiquement comme il suit :

A. Localisation, dans le voisinage de l'usine, de la partie de conduite exposée à l'oxydation. Il suffit pour cela de relier le pôle négatif de la dynamo à la voie. Les courants dérivés par la conduite en sortent dans le voisinage de l'usine où la conduite est à un potentiel positif par rapport à la voie. La surveillance n'a besoin ainsi que de s'exercer sur une assez faible étendue. Il en résulte un léger inconvénient : le fil de travail étant positif, se détériore plus vite par transport de matière avec les étincelles qui se produisent au contact de la roulette ou des frotteurs.

B. Report des corrosions sur des matériaux auxiliaires. On a essayé, mais sans obtenir de résultats pratiques, de reporter l'usure sur des plaques métalliques de grande surface, reliées à la conduite aux points où elle est positive par rapport à la terre.

C. Diminution des dérivations par le sol. Cette diminution peut s'obtenir :

1° Par la diminution de la résistance du retour au moyen de rails à grande section, de joints électriques entre les rails, de rails de grande longueur évitant de trop nombreuses jonctions, de rails soudés électriquement ou empâtés à leurs extrémités dans une coulée de fonte, ou au moyen de conducteurs de retour parallèles à la voie. Ce dernier moyen, généralement très coûteux, est inutile tant que la ligne ne s'étend pas à plus de 5 km de chaque côté de l'usine, pourvu que la conductibilité d'un joint soit au moins égale à celle d'un rail;

2° Par l'augmentation de résistance des circuits dérivés de terre, obtenue en isolant les rails au moyen d'un enduit : béton, asphalte, pavage en bois. Outre qu'il est coûteux, ce moyen est préjudiciable si les joints des rails sont en mauvais état, car il peut en résulter des pertes d'énergie assez fortes et des différences de potentiel dangereuses au voisinage des éclisses ;

3° Par la diminution du courant de retour par les rails soit par un choix convenable de la position de l'usine, soit par l'emploi du système à trois fils pour les lignes à double voie, soit enfin par l'usage de feeders de retour.

D. Captation des courants des tuyauteries dans la zone dangereuse. On relie les régions positives des conduites à l'usine ou mieux aux rails par des conducteurs; mais on augmente ainsi l'intensité des courants dérivés par les conduites et les joints de celles-ci doivent dès lors avoir une bonne conductibilité.

E. Maintien des conduites à l'état d'électrodes négatives, en les reliant au pôle négatif d'une dynamo dont la différence de potentiel est un peu plus élevée que celle des autres dynamos alimentant la ligne ; la corrosion n'a pas lieu, mais, comme précédemment, les courants dérivés deviennent plus importants.

F. Inversion périodique du sens du courant ; il faut que ces inversions soient très rapides et l'on a alors de vrais courants alternatifs.

G. Emploi des courants alternatifs polyphasés, comme à Lugano ; cet emploi exige deux fils de trôlet.

H. Suppression du retour par les rails, le retour s'effectuant par un conducteur spécial ; moyen applicable surtout sur les lignes à canalisations souterraines.

Le service des incendies à Chicago. — Nous extrayons du rapport du Fire Marshall de Chicago,

pour 1896, les renseignements suivants sur le service des incendies de cette ville. En comparant ces chiffres avec ceux que nous avons publiés les années précédentes, on pourra se rendre compte des progrès réalisés.

Le réseau des avertisseurs comprend 1 227 avertisseurs publics, 921 boîtes de police publiques et 395 boîtes privées, soit, en tout, 2 543 avertisseurs. Le développement des lignes aériennes réservées à leur service est de 4 232,8 km et celui des lignes souterraines de 1 384, ce qui porte à 5 617 km la longueur totale des conducteurs.

Les frais de premier établissement entraînés par l'organisation du service sont de 12 812 325 fr, dont 3 449 500 pour les bâtiments, 1 869 625 pour les terrains, 4 276 235 pour les appareils et 3 216 965 pour le réseau d'avertisseurs.

Les dépenses totales d'exploitation et d'entretien se sont élevées, en 1896, à 7 514 713 fr, soit environ 4,30 fr par tête d'habitant. C'est un chiffre relativement faible eu égard aux services rendus et aux dimensions énormes de la ville et à sa faible densité de population : Chicago mesure 41,8 km de longueur maxima, 23,2 km de largeur maxima, a une superficie de 48 447,8 hectares et renferme environ 1 700 000 habitants, tandis que Paris, pour une superficie 6 fois moindre (7 802 hectares), renferme environ 2 600 000 âmes. Ces bons résultats sont attribuables aux avertisseurs.

Grâce à l'excellence de ce service, grâce aussi aux progrès réalisés dans les constructions et aux plus grandes précautions prises, le nombre d'incendies diminue graduellement ainsi que les pertes par tête d'habitant et par an.

En 1896, 5 693 alarmes furent reçues, soit 16,5 p. 100 de moins qu'en 1895 ; le nombre d'incendies combattus fut de 4 414, soit 17 p. 100 de moins que l'année précédente et les pertes par tête ne furent que de 5,65 fr contre 9,00 en 1895, soit 37,22 p. 100 moindres.

L'examen des causes d'incendie présente un intérêt assez grand parce qu'il permet de fixer les risques qu'entraînent les principaux procédés d'éclairage et de chauffage. Ces chiffres sont tout à l'avantage de l'éclairage électrique, bien que celui-ci soit très répandu, que la distribution se fasse souvent à haut potentiel et que les installations soient souvent très défectueuses.

L'électricité a causé 85 incendies, tous peu graves puisque les pertes qu'ils ont entraînées sont, en moyenne de 270 fr par sinistre. Le tableau ci-joint indique la cause de chaque incendie. Remarquons, comme l'année dernière, que les enfants jouant avec le feu ou les allumettes ont causé deux fois plus d'incendies que l'électricité, soit 174. Par contre, les incendies causés par le gaz sont au nombre de 153, par l'alcool, le pétrole, l'essence, de 699, par les cheminées ou fourneaux, de 833.

Ajoutons que la foudre a causé 35 incendies en 1896.

TABLEAU I

Causes des incendies par l'électricité à Chicago en 1896.

Haute tension :		
Tableau de suspension	1	
Câble coupé sous un trottoir	1	
Canalisations intérieures	22	
Câbles sous les trottoirs	18	
Plomb fusible sur poteau	1	
» dans des bâtiments	4	
Câble percé par des clous	2	
Mauvais contacts dans des câbles	2	
Court-circuit avec un plafond métallique	1	52
Basse tension :		
Lampes à incandescence dans des vitrines	2	
Canalisations intérieures	1	
Croisement avec fils de sonnerie	1	
» avec tuyaux à gaz	2	
Terre à un joint	1	
Mauvais contact à un coupe circuit	1	
» dans un câble	1	
» dans une lampe à arc	1	
Câbles sous les trottoirs	1	
Courts-circuits sur les câbles	3	
» dans l'appareillage	4	
» par une vis		1
Conducteurs dans une moulure humide	1	
Isolement détruit par des rats	2	
Court-circuit entre un câble souple et un tube de fer	1	23
Tramways :		
Terre sur un fil de service	1	
Inflammation d'un radiateur	1	
Croisement des fils à trôlet et à lumière	1	
» » à trôlet et télégraphiques	1	4
Foudre		2
Total		81

Le Gérant : C. NAUD.

EVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XI. Samedi 19 Juin 1897. 4e Année. — N° 26.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

LIGNES ÉLECTRIQUES ARTIFICIELLES

On a construit des lignes artificielles, qui sont des appareils de laboratoire destinés à étudier le régime d'un courant semblable à celui qui se propage sur les lignes électriques réelles. Ainsi une ligne artificielle qui doit représenter un long câble sous-marin, de capacité C et de résistance R, est constituée par $(n+1)$ bobines de résistance $\frac{R}{n+1}$ et par n condensateurs de capacité $\frac{C}{n}$ mis en dérivation aux n points de jonction de deux bobines consécutives [1]. En combinant cet appareil avec le dispositif extrêmement ingénieux par lequel M. Ader enregistre les variations d'intensité du courant dans un fil fin, on pourrait enregistrer l'intensité du courant dans chacune des branches de la ligne artificielle, ce qui fournirait des résultats extrêmement intéressants.

1. Nous nous proposons dans cette note de traiter le cas d'une ligne artificielle ayant une résistance R, une capacité C et un coefficient de self-induction L, les $n+1$ branches n'exerçant aucune induction mutuelle. Nous calculerons les intensités des courants dans ces branches, en supposant qu'une force élec-

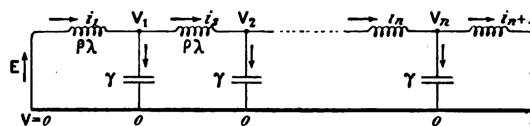


Fig. 1.

tromotrice E constante est introduite dans la première branche à l'époque $t=0$.

Posons :

$$\frac{R}{n+1}=\rho, \quad \frac{C}{n}=\gamma, \quad \frac{L}{n+1}=\lambda. \qquad (1)$$

D'après la figure 1, les chutes de potentiel entre les deux armatures des condensateurs sont $V_1, V_2, \ldots V_n$, et les intensités des courants qui les chargent sont $\gamma\frac{dV_1}{dt}, \ldots \gamma\frac{dV_n}{dt}$. On a ainsi les deux systèmes d'équations :

$$(2)\left\{\begin{array}{l} i_1-i_2=\gamma\frac{dV_1}{dt}, \\ i_2-i_3=\gamma\frac{dV_2}{dt}, \\ \cdots\cdots \\ i_n-i_{n+1}=\gamma\frac{dV_n}{dt}, \end{array}\right. \qquad \left.\begin{array}{l} E-V_1=\rho i_1+\lambda\frac{di_1}{dt}, \\ V_1-V_2=\rho i_2+\lambda\frac{di_2}{dt}, \\ \cdots\cdots \\ V_n=\rho i_{n+1}+\lambda\frac{di_{n+1}}{dt} \end{array}\right\}(3)$$

En retranchant la première équation (3) de la deuxième, et remplaçant (i_1-i_2) par $\gamma\frac{dV_1}{dt}$, on aura :

$$-E+\left(2V_1+\gamma\rho\frac{dV_1}{dt}+\gamma\lambda\frac{d^2V_1}{dt^2}\right)-V_2=0.$$

[1] Voir les courbes du courant à l'arrivée pour $n = 1, 2, 3, 4, 5$, construites par M. Bazille, ingénieur des télégraphes : *Annales télégraphiques*, 1890, p. 46-47.

En opérant de même sur les deuxième et troisième équations (3) et sur la deuxième équation (2) et ainsi de suite, on aura un système d'équations semblables à celle-ci. Posons, pour abréger (¹) :

$$x = 2 + \gamma\rho \frac{d}{dt} + \gamma\lambda \frac{d^2}{dt^2}. \qquad (4)$$

Les nouvelles équations seront en nombre n :

$$\left.\begin{array}{l} -\mathrm{E} + x\mathrm{V}_1 - \mathrm{V}_2 = 0 \\ \quad -\mathrm{V}_1 + x\mathrm{V}_2 - \mathrm{V}_3 = 0 \\ \quad\quad \ddots \qquad\qquad \cdot \quad \cdot \\ \quad\quad -\mathrm{V}_{n-2} + x\mathrm{V}_{n-1} - \mathrm{V}_n = 0 \\ \quad\quad\quad -\mathrm{V}_{n-1} + x\mathrm{V}_n = 0. \end{array}\right\} \qquad (5)$$

(¹) V étant une fonction de t, écrivons :

$$\mathrm{A}_0\mathrm{V} + \mathrm{A}_1 \frac{d\mathrm{V}}{dt} + \ldots + \mathrm{A}_m \frac{d^m\mathrm{V}}{dt^m}$$
$$= \left(\mathrm{A}_0 + \mathrm{A}_1 \frac{d}{dt} + \ldots + \mathrm{A}_m \frac{d^m}{dt^m}\right)\mathrm{V}.$$

$\mathrm{A}_0\ \mathrm{A}_1 \ldots \mathrm{A}_m$ étant des *coefficients constants*. Le polynôme $\left(\mathrm{A}_0 + \ldots + \mathrm{A}_m \frac{d^m}{dt^m}\right)$, de degré m en $\frac{d}{dt}$ sera, par définition, le facteur de V, que nous représenterons par l'abréviation $f\left(\frac{d}{dt}\right)$ ou f. Soit $\varphi = \mathrm{B}_0 + \mathrm{B}_1 \frac{d}{dt} + \ldots$ un autre facteur. La somme des produits $f\mathrm{V}$ et $\varphi\,\mathrm{V}$ sera :

$$f\mathrm{V} + \varphi\mathrm{V} = (\mathrm{A}_0 + \mathrm{B}_0)\mathrm{V} + (\mathrm{A}_1 + \mathrm{B}_1)\frac{d\mathrm{V}}{dt} + \ldots$$
$$= (f + \varphi)\,\mathrm{V}.$$

Le produit de $f\mathrm{V}$ par le facteur φ est :

$$\varphi f\mathrm{V} = \left(\mathrm{B}_0 + \mathrm{B}_1 \frac{d}{dt} + \ldots\right)\left(\mathrm{A}_0\mathrm{V} + \mathrm{A}_1 \frac{d\mathrm{V}}{dt} + \ldots\right)$$
$$= \mathrm{B}_0\left(\mathrm{A}_0\mathrm{V} + \mathrm{A}_1 \frac{d\mathrm{V}}{dt} + \ldots\right) + \mathrm{B}_1 \frac{d}{dt}$$
$$\times \left(\mathrm{A}_0\mathrm{V} + \mathrm{A}_1 \frac{d\mathrm{V}}{dt} + \ldots\right) + \ldots$$
$$= \left[\mathrm{A}_0\mathrm{B}_0 + (\mathrm{A}_1\mathrm{B}_0 + \mathrm{A}_0\mathrm{B}_1)\frac{d}{dt} + (\mathrm{A}_2\mathrm{B}_0 + \mathrm{A}_1\mathrm{B}_1 + \mathrm{A}_0\mathrm{B}_2)\right.$$
$$\left. \times \frac{d^2}{dt^2} + \ldots\right] = f\varphi\mathrm{V}.$$

L'addition et la multiplication de deux facteurs f et φ se font donc par les mêmes règles que l'addition et la multiplication des deux polynômes algébriques $f(\alpha)$ et $\varphi(\alpha)$, où α^p remplacerait $\frac{d^p}{dt^p}$. Si $f(\alpha)$, par exemple, provient du développement d'un déterminant $\Delta(\alpha)$, le même déterminant $\Delta\left(\frac{d}{dt}\right)$ ou α est remplacé par $\frac{d}{dt}$, aura le même développement $f\left(\frac{d}{dt}\right)$.

Le déterminant des coefficients des n fonctions $\mathrm{V}_1, \ldots, \mathrm{V}_n$ est :

$$\Delta_x = \left|\begin{array}{cccccccc} x & -1 & 0 & . & . & . & . & 0 \\ -1 & x & -1 & . & . & . & . & 0 \\ 0 & -1 & x & . & . & . & . & 0 \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & 0 \\ . & . & . & . & . & . & x & -1 \\ 0 & . & . & . & . & 0 & -1 & x \end{array}\right|$$

Il est du degré n en x et, d'après (4), du degré $2n$ en $\frac{d}{dt}$. On peut résoudre les équations différentielles (5) de la même manière que l'on résoudrait un système de n équations algébriques du premier degré à n inconnues $\mathrm{V}_1, \ldots, \mathrm{V}_n$. Posons en effet :

$$\mathrm{V}_1 = \Delta_{11}u, \qquad \mathrm{V}_2 = \Delta_{12}u, \ldots \qquad \mathrm{V}_n = \Delta_{1n}u, \qquad (6)$$

les facteurs de u, $\Delta_{11} \ldots \Delta_{1n}$, étant les mineurs obtenus en supprimant dans le déterminant Δ_x la première ligne et successivement les colonnes 1, 2... n, chaque déterminant Δ_{1k} ainsi obtenu contenant en outre le facteur $(-1)^{k+1}$. Si l'on substitue ces expressions à $\mathrm{V}_1, \ldots, \mathrm{V}_n$ dans les équations (5), la première de celles-ci devient

$$\Delta_x u = \mathrm{E}, \qquad (7)$$

et les coefficients des $(n - 1)$ dernières deviennent identiquement nuls : $0 = 0$ (mêmes propriétés que dans les équations du premier degré); car le déterminant $\Delta_x = \Delta\left(\frac{d}{dt}\right)$ et ses mineurs se développent en $\frac{d}{dt}$ exactement comme le même déterminant $\Delta(\alpha)$ et ses mineurs se développent algébriquement en α.

Résoudre le système (5) revient donc à résoudre l'équation différentielle (7) d'ordre $2n$, à coefficients constants à cause de la relation (4), et à second membre constant E. On sait que la solution générale est de la forme :

$$u = u_0 + (\mathrm{A}_1 e^{\alpha_1 t} + \mathrm{A}'_1 e^{\alpha'_1 t}) + \ldots + (\mathrm{A}_n e^{\alpha_n t} + \mathrm{A}'_n e^{\alpha'_n t}),$$

$\alpha_1, \alpha'_1, \ldots, \alpha_n, \alpha'_n$ étant les $2n$ racines de l'équation algébrique *caractéristique* $\Delta(\alpha) = 0$, accouplées par 2 comme on le verra. $\mathrm{A}_1\mathrm{A}'_1 \ldots \mathrm{A}'_n$

sont $2n$ coefficients constants à déterminer par les conditions initiales du problème. Enfin u_0 est une solution particulière de l'équation (7).

2. *Calcul des racines de* $\Delta(\alpha)$. — Remplaçons x par $2 \cos \zeta$ dans Δ_x. Appelons Δ_h le déterminant obtenu en supprimant dans Δ_x les $n - h$ premières lignes et les $n - h$ premières colonnes. On a :

$$\Delta_1 \sin \zeta = x \sin \zeta = \sin 2\zeta,$$
$$\Delta_2 \sin \zeta = (x^2 - 1) \sin \zeta = \sin 3\zeta,$$

Ces formules étant vraies pour $h = 1$ et 2, démontrons que si elles sont vraies pour $h - 2$ et pour $h - 1$, elles le sont aussi pour h :

$$\Delta_{h-2} \sin \zeta = \sin (h - 1)\zeta,$$
$$\Delta_{h-1} \sin \zeta = \sin h\zeta.$$

Développons Δ_h par rapport à sa première ligne : $x \; -1 \; 0 \ldots 0$

$$\Delta_h = x\Delta_{h-1} - \Delta_{h-2} = \frac{\sin (h+1)\zeta}{\sin \zeta}.$$

Donc :

$$\Delta_n = \Delta_x = \frac{\sin (n+1)\zeta}{\sin \zeta},$$

Les n racines ζ de Δ_x sont évidemment $\frac{\pi}{n+1}, \frac{2\pi}{n+1}, \ldots, \frac{n\pi}{n+1}$, et les racines x sont $2 \cos \frac{\pi}{n+1}, \ldots, 2 \cos \frac{n\pi}{n+1}$. Δ_x étant, par la relation (4), identique à $\Delta\left(\frac{d}{dt}\right)$, deviendra identique à $\Delta(\alpha)$ si l'on remplace $\frac{d}{dt}$ par α dans cette relation (4) :

$$\gamma\lambda\alpha^2 + \gamma\rho\alpha + 2 = x = 2 \cos \zeta, \qquad (4')$$

A chaque racine $x_k = 2 \cos \frac{k\pi}{n+1}$, qui annule Δ_x, correspondent donc les deux racines α_k et α'_k, tirées de (4') où l'on fait $x = x_k$, et qui annulent $\Delta(\alpha)$:

$$\gamma\lambda\alpha_k^2 + \gamma\rho\alpha_k + 4 \sin^2 \frac{k\pi}{2n+2} = 0,$$

$$\left.\begin{matrix}\alpha_k \\ \alpha'_k\end{matrix}\right\} = -\frac{\rho}{2\lambda} \pm \frac{\rho}{2\lambda}\sqrt{1 - 16\frac{\lambda}{\gamma\rho^2}\sin^2 \frac{k\pi}{2n+2}}.$$

Calcul de u_0. — L'équation (7) admet comme solution particulière u une constante u_0. Les dérivées de u_0 étant nulles, $\Delta\left(\frac{d}{dt}\right) u_0 = \mathrm{E}$ se réduit à : $\Delta(0) u_0 = \mathrm{E}$, $\frac{d}{dt}$ étant remplacé par 0. Or $\Delta(0)$ est la valeur de $\Delta(\alpha)$ pour $\alpha = 0$ ou, d'après (4'), pour $2 = 2 \cos \zeta$, c'est-à-dire pour $\zeta = 0$. Comme $\Delta_x = \Delta(\alpha)$, $\Delta(0)$ est aussi la valeur limite de $\Delta_x = \frac{\sin (n+1)\zeta}{\sin \zeta}$ pour $\zeta = 0$. Cette limite est $n + 1$:

$$\Delta(0) = n + 1,$$

d'où :

$$(n+1) u_0 = \mathrm{E}.$$

3. *Calcul des coefficients* $\mathrm{A}_1, \mathrm{A}'_1, \ldots, \mathrm{A}'_n$ *et de* u. — Les conditions initiales du problème sont que, à l'époque $t = 0$ où l'on introduit la force électromotrice E, les chutes de potentiel $\mathrm{V}_1, \ldots, \mathrm{V}_n$ sont nulles ainsi que les courants de charge des condensateurs $\gamma\frac{d\mathrm{V}_1}{dt}, \ldots, \gamma\frac{d\mathrm{V}_n}{dt}$. D'après les formules (6), ces conditions équivalent aux suivantes :

$$\Delta_{11} u = 0 \ldots \Delta_{1n} u = 0,$$
$$\frac{d}{dt}\Delta_{11} u = 0 \ldots \frac{d}{dt}\Delta_{1n} u = 0.$$

C'est là un système de $2n$ équations algébriques du premier degré, *homogènes* à $2n$ inconnues, qui sont les valeurs de $u, \frac{du}{dt} \ldots \frac{d^{2n-1}u}{dt^{2n-1}}$ à l'époque $t = 0$. On sait que ces équations n'admettent que la solution :

$$u = \frac{du}{dt} = \ldots = \frac{d^{2n-1}u}{dt^{2n-1}} = 0.$$

D'ailleurs :

$$u = \frac{\mathrm{E}}{n+1} + \sum_{k=1}^{k=n} (\mathrm{A}_k e^{\alpha_k t} + \mathrm{A}'_k e^{\alpha'_k t}).$$

Les $2n$ conditions initiales sont donc :

$$\frac{\mathrm{E}}{n+1} + \sum_1^n (\mathrm{A}_k + \mathrm{A}'_k) = 0,$$

$$\sum_1^n (\mathrm{A}_k\alpha_k + \mathrm{A}'_k\alpha'_k) = 0,$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\sum_1^n (\mathrm{A}_k\alpha_k^{2n-1} + \mathrm{A}'_k\alpha'^{2n-1}_k) = 0.$$

Ajoutons ces $2n$ équations, multipliées respectivement par les coefficients $a_0, a_1, \ldots, a_{2n-1}$ du polynôme :

$$\frac{\Delta(\alpha)}{\alpha - \alpha_k} = a_0 + a_1\alpha + \ldots + a_{2n-1}\alpha^{2n-1} = \varphi(\alpha).$$

Il vient :

$$a_0 \frac{E}{n+1} + \sum_{l=1}^{l=2n} A_l \varphi(\alpha_l) = 0, \qquad (8)$$

$\varphi(\alpha_l)$ est nul pour toute racine α_l autre que α_k :

$$\sum_1^{2n} A_l \varphi(\alpha_l) = A_k \left[\frac{\Delta(\alpha)}{\alpha - \alpha_k}\right]_{\alpha = \alpha_k} = A_k \left[\frac{d}{d\alpha}\Delta(\alpha)\right]_{\alpha = \alpha_k}$$

Comme $x = 2\cos\zeta$, et que Δ_x est identique à $\frac{\sin(n+1)\zeta}{\sin\zeta}$ et aussi à $\Delta(\alpha)$ d'après (4′), on a :

$$\left[\frac{d}{d\alpha}\Delta(\alpha)\right]_{\alpha=\alpha_k} = \left[\frac{d\Delta_x}{d\zeta}\frac{d\zeta}{d\alpha}\right]_{\zeta = \frac{k\pi}{n+1}}$$

$$= \frac{(n+1)\cos k\pi}{\sin\frac{k\pi}{n+1}} \frac{2\gamma\lambda\alpha_k + \gamma\rho}{-2\sin\frac{k\pi}{n+1}}$$

$$= (-1)^{k+1} \frac{(n+1)\gamma\rho\sqrt{1 - 16\frac{\lambda}{\gamma\rho^2}\sin^2\frac{k\pi}{2n+2}}}{2\sin^2\frac{k\pi}{n+1}}$$

D'autre part $a_0 = \varphi(0) = -\frac{\Delta(0)}{\alpha_k} = -\frac{n+1}{\alpha_k}$. De (8) et des 3 formules suivantes on déduit, en posant :

$$1 - 16\frac{\lambda}{\gamma\rho^2}\sin^2\frac{k\pi}{2n+2} = K,$$

$$A_k = (-1)^{k+1} \frac{2E\sin^2\frac{k\pi}{n+1}}{(n+1)\gamma\rho\alpha_k\sqrt{K}},$$

A'_k diffère de A_k par α'_k qui remplace α_k et par le signe — devant $\sqrt{K}$ (voir les formules de α_k et α'_k, § 2). Finalement on a :

$$u = \frac{E}{n+1} - \frac{2E}{n+1}\sum_1^n (-1)^k \frac{\sin^2\frac{k\pi}{n+1}}{\gamma\rho\sqrt{K}} \times \left(\frac{e^{\alpha_k t}}{\alpha_k} - \frac{e^{\alpha'_k t}}{\alpha'_k}\right).$$

4. *Calcul de l'intensité i_{n+1} du courant à l'arrivée.* — Remplaçons la notation i_{n+1} par i.

Pour la $(n+1)^e$ et dernière branche, on a :

$$V_n = \rho i + \lambda \frac{di}{dt}, \qquad (9)$$

D'ailleurs $V_n = \Delta_{1n} u$ (formules 6) et :

$$\Delta_{1n} = (-1)^{1+n} \begin{vmatrix} -1 & . & . & . & . & . & . & 0 \\ 0 & -1 & . & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & -1 & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & -1 \end{vmatrix}$$

$$= (-1)^{1+n+n-1} = 1.$$

d'où : $V_n = u$. Comme $i = 0$ pour $t = 0$, l'intégrale de (9) est :

$$i = e^{-\frac{\rho t}{\lambda}} \int_0^t \frac{u}{\lambda} e^{\frac{\rho t}{\lambda}} dt$$

$$= e^{-\frac{\rho t}{\lambda}} \frac{E}{(n+1)\rho} \Bigg\{ e^{\frac{\rho t}{\lambda}} - 1 - \frac{2}{\gamma\lambda}\sum_1^n (-1)^k$$

$$\times \frac{\sin^2\frac{k\pi}{n+1}}{\sqrt{K}} \left[\frac{e^{\left(\alpha_k + \frac{\rho}{\lambda}\right)t} - 1}{\alpha_k\left(\alpha_k + \frac{\rho}{\lambda}\right)} - \frac{e^{\left(\alpha'_k + \frac{\rho}{\lambda}\right)t} - 1}{\alpha'_k\left(\alpha'_k + \frac{\rho}{\lambda}\right)}\right] \Bigg\}$$

$$\frac{i}{I} = 1 - e^{-\frac{\rho t}{\lambda}} + 2e^{-\frac{\rho t}{2\lambda}} \sum_1^n (-1)^k \frac{\cos^2\frac{k\pi}{2n+2}}{\sqrt{K}} \times \left(e^{\frac{\rho t}{2\lambda}\sqrt{K}} - e^{-\frac{\rho t}{2\lambda}\sqrt{K}}\right), \qquad (10)$$

$I = \frac{E}{(n+1)\rho} = \frac{E}{R}$ est l'intensité finale du courant sur la ligne.

Si, quel que soit k, $\sqrt{K}$ est réel, la formule (10) suffit; mais si $\sqrt{K}$ devient imaginaire, K devenant négatif pour k assez grand, on l'écrira $\sqrt{-1}\sqrt{K}$, et l'on complétera les premiers facteurs de la forme :

$$\frac{e^{\frac{\rho t}{2\lambda}\sqrt{K}} - e^{-\frac{\rho t}{2\lambda}\sqrt{K}}}{\sqrt{K}},$$

(si ces premiers existent) par des facteurs de forme réelle, dérivée de la forme précédente :

$$\frac{2\sin\left(\frac{\rho t}{2\lambda}\sqrt{-K}\right)}{\sqrt{-K}}.$$

Telle sera l'expression complète de l'intensité i.

Calcul général des intensités de courant $i_1 i_2 .. i_n$. — Écrivons les équations (2) du § 1er, en les inversant et remplaçant $V_n ... V_1$ par leurs expressions (6) :

$$i_n - i = \gamma \frac{dV_n}{dt} = \gamma \frac{du}{dt},$$

$$i_{n-1} - i_n = \Delta_{1\,n-1} \gamma \frac{du}{dt},$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$i_{n-h} - i_{n-h+1} = \Delta_{1\,n-h} \gamma \frac{du}{dt}.$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$

De la formule de u on déduit :

$$\gamma \frac{du}{dt} = -2\,\mathrm{I} \sum_1^n (-1)^k \frac{\sin^2 \frac{k\pi}{n+1}}{\sqrt{\mathrm{K}}} (e^{\alpha_k t} - e^{\alpha'_k t}).$$

Développons le déterminant $\Delta_{1\,n-h}$, qui n'est autre que Δ_x où la première ligne et la colonne $n - h$ sont à supprimer :

$$\Delta_{1\,n-h} = (-1)^{1+n-h} \times$$

$$\begin{array}{c} \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & \cdots & n-h & \cdots & n \end{matrix} \\ \left| \begin{matrix} x & -1 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\ -1 & x & -1 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & -1 & x & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & -1 & x & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & 0 & -1 & x-1 & 0 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & -1 & x-1 & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0-1 & x & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & x-1 & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & -1 & x & 1 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & \cdots & 0-1 & x \end{matrix} \right| \end{array}$$

$$= (-1)^{1+n-h} (-1)^{n+h-1} \Delta_h.$$

Δ_{1n-h} est donc égal au déterminant mineur (encadré) Δ_h, qui est le même que celui du paragraphe 2 et qui a pour expression $\frac{\sin (h+1) \varphi}{\sin \varphi}$, lorsqu'on pose : $x = 2 \cos \varphi$. Δ_h exprimé en x est identique à $\Delta_h \left(\frac{d}{dt}\right)$ obtenu en remplaçant dans Δ_h x par l'expression (4) ; il est aussi identique à $\Delta_h (\alpha)$ obtenu en remplaçant dans $\Delta_h\, x$ par l'expression (4') en α. On aura donc :

$$\Delta_h \left(\frac{d}{dt}\right) e^{\alpha_k t} = \Delta_h (\alpha_k)\, e^{\alpha_k t} = \frac{\sin (h+1) \frac{k\pi}{n+1}}{\sin \frac{k\pi}{n+1}} e^{\alpha_k t}.$$

La première de ces deux relations se vérifie facilement puisque $\frac{d^m}{dt^m} e^{\alpha_k t} = \alpha_k^m e^{\alpha_k t}$, et la seconde parce que à α_k, par les formules (4'), correspond $\varphi_k = \frac{k\pi}{n+1}$. Appliquons ceci au calcul de $\Delta_h \gamma \frac{du}{dt} = i_{n-h} - i_{n-h+1}$:

$$i_{n-h} - i_{n-h+1} = -2\,\mathrm{I} \sum_1^n (-1)^k \frac{\sin \frac{k\pi}{n+1}}{\sqrt{\mathrm{K}}}$$

$$\times \sin (h+1) \frac{k\pi}{n+1} (e^{\alpha_k t} - e^{\alpha'_k t}).$$

En ajoutant les $(h + 1)$ premières équations ci-dessus après les avoir transformées de même, on aura :

$$i_{n-h} - i = -2\,\mathrm{I} \sum_1^n (-1)^k \frac{\sin \frac{k\pi}{n+1}}{\sqrt{\mathrm{K}}}$$

$$\left[\sin \frac{k\pi}{n+1} + \ldots + \sin (h+1) \frac{k\pi}{n+1}\right] (e^{\alpha_k t} - e^{\alpha'_k t}).$$

Remplaçons la somme, entre crochets, des $(h + 1)$ sinus d'arcs en progression arithmétique par l'expression connue. On aura :

$$\frac{i_{n-h}}{\mathrm{I}} = \frac{i}{\mathrm{I}} - 4 \sum_{k=1}^{k=n} (-1)^k \frac{\cos \frac{k\pi}{2n+2}}{\sqrt{\mathrm{K}}}$$

$$\times \sin (h+1) \frac{k\pi}{2n+2} \sin (h+2) \frac{k\pi}{2n+2} (e^{\alpha_k t} - e^{\alpha'_k t}). \qquad (11)$$

Cette formule représente l'*intensité du courant dans une branche quelconque $n - h$* de la ligne artificielle. Lorsque $\sqrt{\mathrm{K}}$ est imaginaire, la même remarque doit être faite ici qu'à propos de l'équation (10), qui donne $\frac{i}{\mathrm{I}}$.

Pour une ligne artificielle constituée comme nous l'avons dit au paragraphe 1er, on peut, par les formules (10) et (11) calculer des tables

numériques des valeurs de l'intensité du courant dans chacune des $n+1$ branches, ces valeurs correspondant à des valeurs du temps croissant en progression arithmétique. La raison de cette progression sera une fraction de seconde convenablement choisie, suivant que la durée d'établissement de l'intensité finale, à un centième près par exemple, est plus ou moins longue sur cette ligne. On pourra également construire des courbes au moyen des tables numériques et comparer ces courbes entre elles et surtout à la courbe du *courant à l'arrivée.*

6. *Application à une ligne réelle.* — Supposons les $(n+1)$ branches de la ligne artificielle réparties le long d'une ligne AB (fig. 2)

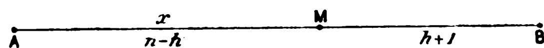


Fig. 2.

de longueur l, divisée en $(n+1)$ sections de longueur $\frac{l}{n+1}$. Si, laissant l fixe, on accroît indéfiniment n et h, la section infiniment petite $n-h$ aura son extrémité M à une distance x de l'origine A de la ligne, de telle sorte que $\frac{n-h}{n+1}=\frac{x}{l}$. On remplacera ρ, γ, λ, K par leurs expressions en fonction de n, et l'on calculera la limite des divers termes pour n infini dans les équations 10 et 11 ; enfin on portera dans (11) l'expression (10) de $\frac{i}{I}$. Tous calculs faits, l'équation 11, où l'on pourra remplacer i_{n-h} par i, deviendra :

$$\frac{i}{I}=1-e^{-\frac{Rt}{L}}+2e^{-\frac{Rt}{2L}}\sum_{1}^{\infty}\cos\left(k\pi\frac{x}{l}\right)\times \left\{\begin{array}{l}\left[\dfrac{e^{\frac{Rt}{2L}\sqrt{1-k^2\delta^2}}-e^{-\frac{Rt}{2L}\sqrt{1-k^2\delta^2}}}{\sqrt{1-k^2\delta^2}}\right]\text{pour } k<\dfrac{1}{\delta} \\ \text{ou}\left[\dfrac{2\sin\left(\frac{Rt}{2L}\sqrt{k^2\delta^2-1}\right)}{\sqrt{k^2\delta^2-1}}\right]\text{pour } k>\dfrac{1}{\delta}\end{array}\right\} \quad (12)$$

en posant :

$$\delta^2=4\pi^2\frac{L}{CR^2}.$$

Au cas où $\frac{1}{\delta}$ serait un nombre entier, on aurait, entre accolades dans (12), le terme $\left(\frac{Rt}{L}\right)$ pour $k=\frac{1}{\delta}$.

L'équation (12) est précisément celle du courant i en un point x à l'époque t, sur une ligne électrique réelle de longueur l, une force électromotrice E étant établie à l'époque zéro à l'origine de la ligne [1].

A. Vaschy,
Ingénieur des Télégraphes.

MESURE DES CAPACITÉS

COMPARAISON AU GALVANOMÈTRE BALISTIQUE

La charge d'un condensateur est une fonction du temps, de la force électromotrice employée et, souvent, des charges antérieures.

Nous avons vu (*L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 534), que cette fonction varie beaucoup suivant la *nature* du diélectrique employé et le mode de fabrication, qu'il s'agisse d'un condensateur ou d'un câble; il s'ensuit que la capacité ne peut être définie que si on se place dans des conditions déterminées.

Toutes les méthodes de zéro proposées pour la mesure des condensateurs négligent, soit la conductibilité propre, soit la variation de capacité avec le temps de charge, soit, enfin, la force électromotrice employée ; il en résulte que les résultats qu'elles donnent sont moins précis que ceux des méthodes d'élongation ; dans la plupart des cas, ils n'ont même aucune signification précise et ne peuvent servir que pour la comparaison de condensateurs ayant des qualités presque identiques.

---

[1] *Annales télégraphiques*, 1888, p. 481, étude directe de la ligne réelle par l'intégration d'une équation aux dérivées partielles du second ordre; courbes du courant à l'arrivée pour les divers types de lignes, calculées et construites par M. Barbarat, ingénieur des Télégraphes.

Pour comparer deux capacités au moyen des élongations d'un galvanomètre balistique, on réalise le montage de la figure 1. Une

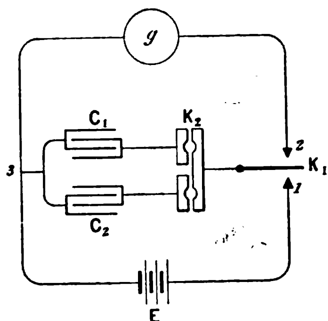


Fig. 1. — Comparaison de 2 condensateurs au balistique.

armature de chacun des condensateurs à comparer, C_1 et C_2, est reliée au point 3, commun au galvanomètre et à la pile de charge E. Si la capacité à mesurer est un câble dont l'armature extérieure est à la terre, le point 3 est lui-même relié à la terre. Les deux autres armatures de C_1 et C_2 sont mises en communication avec la clef de décharge K_1, soit en les attachant successivement à la borne du ressort, soit en les reliant à son commutateur à fiche K_2, dont le plot commun est en connexion directe avec K_1; la fiche, introduite dans l'un ou l'autre des trous, permet de prendre le condensateur que l'on veut ; ce commutateur doit être *parfaitement isolé*.

La mesure proprement dite, consiste à charger d'abord le condensateur C_1 pendant un temps déterminé, en abaissant la clef K_1 sur le contact 1. On abandonne alors le ressort de la clef de décharge qui vient en contact avec 2 ; le condensateur se décharge dans le galvanomètre en produisant une élongation ε_1.

La même opération répétée avec le condensateur C_2, en ayant soin d'employer la même durée de charge, donne une élongation ε_2 ; on a évidemment

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}.$$

La grandeur des élongations dépend de C, de E et de la sensibilité du galvanomètre employé. Quand les élongations sont trop petites, on augmente, s'il est possible, la sensibilité du galvanomètre, ou, ce qui est souvent plus facile, on augmente E. Quand les élongations sont trop grandes, on peut les diminuer à l'aide de shunts.

Avec les galvanomètres à cadre mobile, l'emploi du shunt universel (*L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 551), permet de faire varier la sensibilité sans modifier l'amortissement ; par suite, le pouvoir multiplicateur est le même avec les décharges qu'avec les courants continus.

Les galvanomètres à aimant mobile ont un amortissement à peu près indépendant de la résistance du circuit, mais leur coefficient de self-induction est, en général, plus élevé; il peut en résulter une petite différence entre le pouvoir multiplicateur indiqué par les résistances et la valeur à prendre pour les décharges. Il faut déterminer, une fois pour toutes, la valeur vraie du pouvoir multiplicateur, en déchargeant dans le galvanomètre des quantités connues d'électricité, soit en prenant un condensateur subdivisé et bien étalonné, soit en chargeant le même condensateur avec des forces électromotrices bien connues.

Quand les capacités C_1 et C_2 sont très différentes, on peut amener les élongations à être presque égales, ce qui est utile pour la précision du résultat, en faisant varier E dans un rapport bien connu ; on peut aussi, et ce moyen est le plus exact, se servir des shunts.

Quelle que soit la sensibilité du galvanomètre, il ne faut pas, quand l'une des capacités est susceptible de polariser, prendre une force électromotrice inférieure à 10 volts ; ce cas est, presque toujours, celui des câbles.

Par cette méthode, on peut définir la capacité, ou plutôt la charge, en fonction du temps; mais, dans l'usage courant, on se contente de déterminer cette valeur pour une seule durée de charge, que l'on prend presque toujours assez grande pour que la capacité soit très près de sa valeur limite. Dans les essais de câbles sous-marins, on prend généralement de 30 à 60 secondes.

Une précaution souvent recommandée, à tort d'ailleurs, consiste à *isoler* le condensateur pendant quelques secondes entre la charge et la décharge. Cette recommandation qui avait probablement pour but, dans la télégraphie sous-marine, de permettre au câble de prendre un état de régime, a pour résultat de fausser entièrement les mesures, en faisant intervenir l'isolement du condensateur et la pénétration de la charge.

Dans toutes ces mesures, on doit veiller très soigneusement à l'isolement des divers instruments ; il faut aussi obtenir de très bons contacts, tant dans les clefs K_1 et K_2 que dans tous les points du circuit, car des contacts imparfaits ne suppriment ni la charge, ni la décharge du condensateur, mais ils les ralentissent suffisamment pour causer parfois des erreurs très graves, *dont rien ne décèle l'existence.*

La comparaison des deux capacités, pour des durées de charge bien définies, peut être obtenue, par cette méthode, avec une grande approximation, 0,1 à 0,2 p. 100, lorsque les condensateurs sont de qualité moyenne. Les condensateurs en papier, de même que les câbles, donnent quelquefois des erreurs supérieures à 5 p. 100, principalement à cause de la température.

MESURE EN FONCTION D'UNE RÉSISTANCE ET D'UN TEMPS

Les équations (18), (19), et (20) (*L'Éclairage Électrique,* t. VIII, p. 513), donnent un moyen simple pour mesurer une quantité d'électricité, lorsqu'on connaît la durée d'oscillation et la sensibilité du galvanomètre employé ; puisque la quantité est égale à CE, on peut en tirer la valeur C.

Dans ces équations, le rapport $\frac{\alpha}{I}$, de la déviation permanente à l'intensité qui le produit, peut être remplacé par :

$$\frac{\alpha m R}{E},$$

en appelant m le pouvoir multiplicateur du shunt, R la résistance totale du circuit et E la force électromotrice. Si on charge le condensateur avec la même valeur E, il faut remplacer q par $\frac{q}{E}$, c'est-à-dire par C ; finalement on tire de ces trois équations,

$$C = \frac{T_0}{\pi} \frac{1}{mR} \frac{\varepsilon}{\alpha}. \quad (1)$$

$$C = \frac{T_0}{\pi} \frac{1}{mR} \frac{\varepsilon}{\alpha} e^{\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arc\,tg} \frac{\pi}{\lambda}}. \quad (2)$$

$$C = \frac{T_0}{\pi} \frac{1}{mR} \frac{\varepsilon}{\alpha} e. \quad (3)$$

La mesure de la capacité se résume alors dans la détermination d'un temps T_0, durée de l'oscillation simple du galvanomètre, sans amortissement ; la mesure de la résistance R ; enfin dans la détermination des deux rapports, un rapport de résistance et $\frac{\varepsilon}{\alpha}$ rapport de deux longueurs. Il faut aussi ajouter, selon le cas, la mesure du décrément logarithmique λ, ou celle des conditions qui assurent l'apériodicité critique.

Quand la durée d'oscillation T_0 dépasse 4 ou 5 secondes, la mesure des élongations se fait avec la même précision que celle des déviations permanentes ; si, de plus, l'amortissement est très faible ou nul, on peut mesurer T_0 à 0,2 ou 0,3 p. 100 près ; au contraire, quand l'amortissement est considérable, la mesure de T_0 est très incertaine.

Avec les galvanomètres à aimant mobile, il faut choisir un équipage très peu amorti, mesurer T et λ aussi exactement que possible et en tirer T_0. L'emploi d'un galvanomètre fortement amorti conduit, dans cette méthode, à des résultats complètement faux.

Avec les galvanomètres à cadre mobile, on peut toujours ouvrir le circuit, de façon à mesurer T_0 ou une valeur très approchée T, d'où on tire, comme nous l'avons vu (*L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 399).

$$T_0 = T\left(1 - \frac{\lambda^2}{20}\right).$$

Si on emploie également le galvanomètre à circuit ouvert, la très faible valeur de λ

permet de remplacer l'équation (2) par :

$$C = \frac{T_0}{\pi} \frac{1}{mR} \frac{\varepsilon}{\alpha} \left(1 + \frac{\lambda}{2}\right). \quad (4)$$

On peut aussi déterminer exactement la résistance critique d'amortissement (*Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 508), et se placer sur cette résistance ; on applique alors l'équation (3).

Le groupement des appareils est indiqué, (fig. 2).

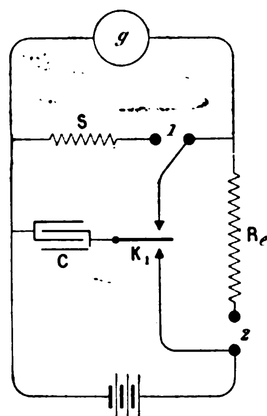


Fig. 2. — Mesure en fonction d'une résistance et d'un temps.

Pour la mesure de ε, les conducteurs S et R sont ouverts en 1 et 2, la charge et la décharge du condensateur s'effectuent au moyen de K_1 exactement comme dans la méthode précédente. La durée de charge doit toujours être la même, et, en cas de répétition des expériences, il faut laisser, entre deux mesures consécutives, le condensateur en court-circuit, pour diminuer l'influence des charges résiduelles. S'il y a lieu d'employer un shunt pour l'amortissement, on ferme le circuit en 1.

Pour la mesure de α, on isole le condensateur en laissant la clef K_1 entre les deux contacts ; on ferme 1 et 2, de façon à faire passer le courant de la source E dans tout le circuit, et on règle S et R, comme on le fait pour la mesure des constantes de galvanomètres. On doit chercher à faire α très voisin de ε, pour réduire l'erreur du rapport.

Il est extrêmement important de s'assurer que les déviations du galvanomètre sont bien proportionnelles aux intensités, car s'il y a des différences, elles n'agissent pas de même sur les élongations que sur les déviations permanentes.

Toutes les précautions bien prises, on arrive difficilement, avec une seule mesure, à une approximation supérieure à 1 p. 100 ; ce n'est que par les répétitions des expériences, dans des conditions variées, que l'on obtient plus de précision.

H. Armagnat.

NOUVELLES APPLICATIONS DU VERRE EN ÉLECTRICITÉ

L'Éclairage Électrique signalait récemment [1] des essais faits en Amérique avec des coussinets en verre que l'on se proposait de substituer, dans les machines et les transmissions, aux coussinets métalliques ; voici à ce sujet quelques renseignements complémentaires :

Il paraît ressortir de ces essais que les nouveaux organes exigent moins de graissage, que le frottement est moindre et que, dans beaucoup de cas, les coussinets en verre offrent des avantages. Dans des cas particuliers cependant, ils offrent une moindre sécurité que les autres.

Les recherches ont porté sur la qualité du verre a adopter de préférence et sur la forme à donner aux coussinets. On a essayé plusieurs compositions, verre à bouteille (à base de silicate de chaux), verre noir (brique pilée, sable, chaux, etc.), verre à vitres (à base d'oxyde de plomb), cristal, flint-glass, etc. ; on a trouvé que les substances donnant les meilleurs résultats étaient le verre à bouteille et le verre à vitres commun.

Les coussinets étaient en deux pièces et obtenus par fusion. Nous en avons trouvé en France, qui sont également formés de

[1] Tome IX, p. 334, 21 novembre 1896.

**

2 pièces, mais qui ont été dressés à la machine. Nous en reparlerons ultérieurement. Les coussinets américains ont été éprouvés avec un arbre tournant à 250 tours, avec graissage convenable. On a constaté que lorsque les deux demi-coussinets étaient montés sur paliers de bois ou de plomb, ils ne présentaient, après 20 heures de marche, aucune trace d'usure ; que s'ils étaient pris dans des paliers rigides, en fonte, leurs angles s'émoussaient et qu'ils présentaient des fissures, ce qui démontre la nécessité d'une certaine élasticité dans les supports. Avec les nouveaux coussinets, il importe que les poulies soient bien équilibrées et les arbres bien centrés. On a fait à ce sujet l'expérience suivante : on a placé des coussinets en verre dans des supports ordinaires et on a calé sur l'arbre une poulie portant une masse excentrique de 20 kg. Après une demi-heure de marche à 90 tours, les coussinets étaient entièrement disloqués. Un essai a été tenté avec 2 arbres irrégulièrement alignés soutenus chacun par un coussinet. Le mouvement irrégulier de ces arbres, qui eût endommagé à vrai dire toute espèce de coussinets, en usa un d'un seul côté et mit l'autre en morceaux.

Pour prouver la diminution du frottement avec les coussinets en verre, on cala une poulie près d'un coussinet ; on y enroula une corde à laquelle on suspendait des poids jusqu'à arrêter le mouvement de l'arbre. Les épreuves faites avec coussinets en verre et coussinets en métal permirent de constater que le frottement était moindre avec les premiers. On essaya aussi avec frottement de verre sur verre. Pour cela, on fit à l'extrémité d'un arbre une portée sur laquelle on enfila, à chaud, un manchon en verre qui fut placé dans un coussinet en verre : l'arbre fut maintenu pendant 2 jours à la vitesse de 270 tours. Sans graissage, les coussinets présentèrent une légère trace d'usure, mais aucun indice de rupture ; — lubrifiés à l'huile, ils ne subirent plus aucune érosion.

On a cherché enfin quel devait être le degré de serrage des coussinets en verre, en munissant les paliers de vis de contrôle : on a trouvé qu'il fallait les serrer 25 p. 100 moins que ceux en métal.

L'emploi des coussinets en verre paraît donc devoir rendre des services et il est probable qu'après de nouveaux essais, on arrivera à des résultats plus avantageux.

Dans les expériences faites en France, dont nous parlons plus haut, on a employé, à l'inverse des ingénieurs américains, non pas du verre commun, mais des pièces prises sur dalles du plus pur Saint-Gobain et ces coussinets sont en service dans une maison de fabrication de pièces d'horlogerie, sur des tours où les vitesses diffèrent de celles qui ont été données ci-dessus. La période d'essai ne nous paraît pas suffisante pour fournir tous les éléments d'une sérieuse appréciation. Quand les épreuves auront donné de solides éléments de comparaison, nous y reviendrons.

Une autre application plus importante du verre à l'industrie électrique, se poursuit également à Marseille pour les canalisations télégraphiques ou de lumière. L'idée appartient à un maître verrier M. Négrel et à un modeste employé des Postes et Télégraphes M. Estellon qui ont songé à utiliser le verre en tuyaux de 0,01 cm d'épaisseur, de 40 à 60 mm de diamètre intérieur et de 1 à 2 m de longueur pour les lignes télégraphiques souterraines et surtout pour les canalisations d'usines, de théâtres, etc. Ces tuyaux se trouvent établis à prix tellement bas que dans des cas multiples où la sécurité des conducteurs et leur parfait isolement doivent faire négliger un léger surcroît de dépenses, on peut les employer au lieu du fer, du plomb, du zinc, et même de la fonte. L'étanchéité et l'incombustibilité du système méritent à elles seules de fixer l'attention. Les inventeurs ont porté leurs recherches sur le mode de jonction des tuyaux à bouts mâle et femelle. C'est là le point délicat sur lequel une expérience un peu prolongée peut seule permettre d'asseoir une opinion. Les pièces primitives que nous avons pu examiner

n'offrent ni plissages, ni soufflures dans la masse. Elles ressemblent à d'énormes tubes barométriques très purs. Les premiers cylindres offraient quelques différences de calibrage intérieur que les perfectionnements de moulage ont fait disparaître. La nouvelle tuyauterie peut trouver une large place dans les canalisations domestiques ou souterraines et l'invention nous a paru se produire fort à propos, au moment où, comme le rappelait *L'Éclairage Électrique* (¹) les compagnies de gaz et autres accusent les courants de retour des tramways de la destruction électrolytique de leurs conduites. Nous suivrons avec soin pour les lecteurs de *L'Éclairage* les essais de tout genre qui vont se faire sur les nouvelles conduites. P. MARCILLAC.

VOLTMÈTRE ENREGISTREUR
DE LA
COMPAGNIE EDISON

Dans les distributions d'énergie électrique, la différence de potentiel sous laquelle l'énergie est débitée varie entre des limites assez rapprochées au delà desquelles il est inutile d'avoir des indications. Par suite, les appareils de mesure destinés à déceler ces variations ne doivent avoir qu'une échelle restreinte à ces limites.

Les voltmètres enregistreurs employés jusqu'ici dans les stations ayant une échelle partant de zéro, cette échelle n'était utilisée par les indications de l'appareil que dans une partie n'atteignant pas 20 p. 100 de sa totalité. Il en résultait que les variations ordinaires n'étaient indiquées que par des déviations de très petite amplitude. De plus, le couple moteur étant créé, dans ces appareils, par des électro-aimants, l'index ne passait pas par les mêmes points pour les mêmes valeurs de la différence de potentiel par suite de l'hystérésis.

Dans le nouvel appareil employé par la Compagnie continentale Edison, la déviation totale de l'aiguille est utilisée dans les limites de variations maxima admises de la différence de potentiel, c'est-à-dire entre 100 et 120 volts

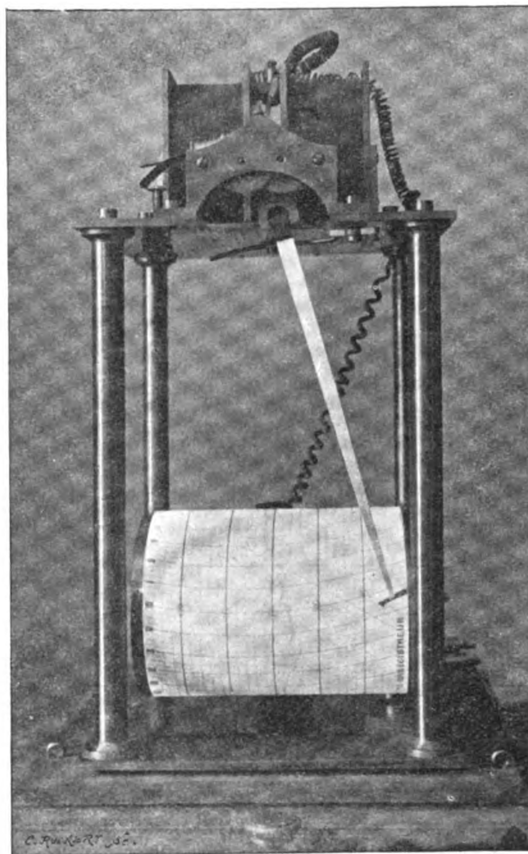


Fig. 1. — Voltmètre. Vue d'ensemble.

pour les appareils destinés à enregistrer le voltage sur la canalisation, et entre 110 et 150 volts pour les appareils d'usine placés sur les points de jonction des dynamos.

Le déplacement total de l'extrémité de l'aiguille portant la plume enregistrante est de 85 mm correspondant à une variation totale de 20 volts, de sorte que chaque volt est représenté par un déplacement de plus de 4 mm. Les variations les plus faibles de la différence de potentiel sont donc nettement accusées.

Dans tous les appareils enregistreurs, le

(¹) *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 144, 10 avril 1897.

frottement de la plume sur le papier n'étant pas négligeable, il est de toute nécessité que le couple moteur soit puissant. Ce couple étant créé ici par des champs galvaniques, à l'exclusion de tout électro-aimant, on est conduit à consentir à une dépense d'énergie relativement élevée et la résistance de ces voltmètres n'est que de 1 000 à 1 200 ohms.

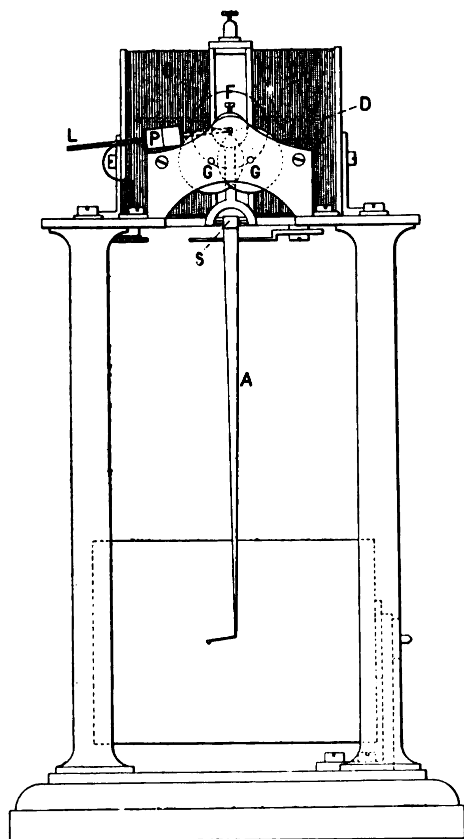


Fig. 2. — Voltmètre. Elévation de face.

Le champ directeur est créé par deux cadres fixes CC, à l'intérieur desquels se meut un cadre mobile D tournant autour d'un tube de fer fixe F, destiné à concentrer les lignes de force du champ comme dans le galvanomètre Deprez-d'Arsonval. Les deux cadres fixes et le cadre mobile sont enroulés de fil de 0,30 mm et montés en série.

On remarquera que dans ces conditions les déviations ne sont pas proportionnelles aux courants qui traversent l'appareil, mais au carré de ces courants. Toutefois, ce défaut de proportionnalité se trouve atténué par ce fait que le poids de l'aiguille et de son support forme un couple décroissant de même sens que le couple moteur dans la première moitié de sa course à la fin de laquelle il est nul. Dans la seconde moitié, il est croissant et de sens contraire. Pratiquement, les déviations sont sensiblement proportionnelles.

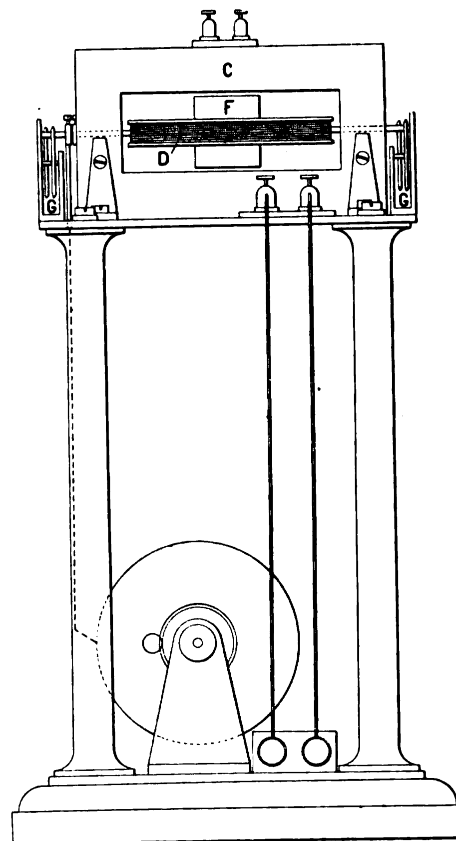


Fig. 3. — Voltmètre. Elévation latérale.

Le cadre mobile porte un axe terminé à ses extrémités par deux tourillons qui s'appuient sur des galets GG. L'appareil devant être avant tout robuste et susceptible d'être déplacé et transporté fréquemment, le montage sur galets a l'avantage d'être moins fragile que le montage sur couteaux tout en présentant une sensibilité comparable pratiquement.

L'aiguille en aluminium A est articulé en S à son support de façon à pouvoir se déplacer librement dans le plan passant par

l'axe du système mobile. Ce dispositif a pour résultat que la plume porte sur le papier par le poids de l'aiguille et lui permet de suivre les rugosités du papier avec un frottement sensiblement constant.

Le couple résistant est constitué par deux contre poids P pouvant se déplacer sur une tige filetée L et formant contre-écrous.

Les feuilles d'enregistreurs des voltmètres placés sur les deux circuits des régulateurs automatiques de la Station Drouot, montrent que les indications fournies par ces appareils sont satisfaisantes.

P. Rocher.

REVUE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Commutateur hermétique H. Willat (1).

Ce commutateur, de forme cylindrique, peut, en raison de son étanchéité, être manœuvré dans l'eau ou dans une atmosphère chargée de gaz inflammables. La partie supérieure *d* de la boite (fig. 1) pénètre par ses

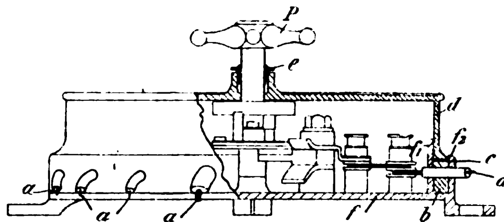


Fig. 1. — Commutateur hermétique H. Willat.

rebords f_1, f_2, dans une rainure profonde creusée dans le socle *f*, où elle est maintenue et serrée contre une épaisse bague de caoutchouc *b*, par un écrou *c*. Sur le pourtour de la boite sont réservés des trous munis d'une garniture en caoutchouc pour le passage des fils *a*, *a*... des différents circuits aboutissant à ce commutateur. L'étanchéité est assurée par la pression des boulons *c*; ainsi que par le presse-étoupes *e* de la poignée P. L. D.

(1) Brevet anglais n° 1936; mars 1897. 3 figures.

Dispositif de Mme E.-T. Forbes, pour la fixation des boites de prise de courant à l'intérieur des habitations (1).

La boite *d* est placée dans un cylindre *a* (fig. 1) dont le fond a_1 est percé pour livrer passage à la vis de fixation *f* de la partie antérieure *g* à laquelle les fils arrivent par le

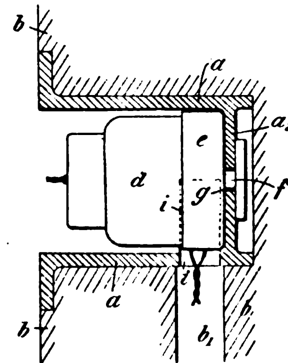
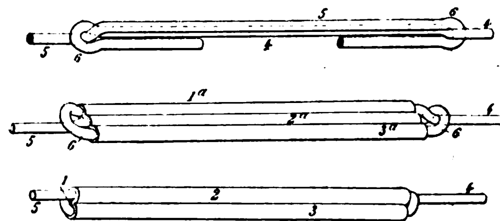


Fig. 1. — Prise de courant. Dispositif E.-T. Forbes.

canal b_1. L'ensemble ainsi disposé est logé dans une cavité pratiquée à cet effet dans le mur *b* dont il peut être rendu solidaire par un artifice quelconque. La cavité est recouverte d'un couvercle mobile ne laissant passer que les deux fils de sortie. L. D.

Couvre-joints Ellwood Ivins (2).

La réunion des deux câbles s'exécute comme l'indique la figure 1; les deux tubes 1^a, 2^a, en


Fig. 1 à 3. — Couvre-joints Ellwood Ivins.

cuivre ou en tout autre métal conducteur, qui doivent recouvrir la jonction, sont enfilés avant de tordre les fils; le troisième 3^a s'adapte

(1) Brevet anglais n° 11647, 13 mars 1897. 6 figures.

(2) Brevet anglais n° 3019, 13 mars 1897. 8 figures.

après et reçoit les deux extrémités. La jonction est alors serrée de manière à former un ensemble triangulaire ou à affecter la forme plate de la figure 2. L. D.

Four électrique tubulaire. D. Helbig [1].

A l'une des dernières séances de l'Acc. dei Lincei, de Rome, M. Cannizzaro, présentait un four électrique de forme simple et d'un emploi commode construit par M. D. Helbig, de l'Institut chimique de l'Université de Rome.

Ce four se compose d'un cylindre en charbon dont les dimensions sont : longueur, 50 cm; diamètre intérieur, 2 cm; épaisseur de la paroi, 0,5 cm. Ce tube est placé au centre d'une boîte cylindrique en fer-blanc d'un diamètre 3 ou 4 fois supérieur à celui du tube et dont les extrémités sont fermées par des diaphragmes en carton d'amiante. Une petite fenêtre garnie de vitraux en mica permet de s'assurer à chaque instant de l'état du cylindre intérieur. Les deux extrémités du tube sortent par des ouvertures centrales pratiquées dans les diaphragmes et sont munies chacune d'un collier où l'on fixe les conducteurs.

En augmentant graduellement l'intensité du courant, le tube est porté au blanc incandescent. Avec un courant de 250 ampères sous 40 volts, l'auteur a pu rendre malléable un petit cylindre plein de porcelaine de Bayeux par un séjour de 6 minutes dans l'intérieur du four.

Au début de l'expérience, dès que l'incandescence est atteinte, une faible partie du carbone du tube brûle aux dépens de l'oxygène contenu dans l'enveloppe métallique, mais après quelques instants celle-ci se remplit d'un mélange inerte d'azote et d'oxyde de carbone qui n'exerce plus aucune action sur le carbone.

L'inventeur fait valoir en faveur de cet appareil l'avantage de pouvoir maintenir une température très constante rien qu'en manœuvrant le rhéostat qui règle l'intensité du courant. L. D.

(1) *Atti del. Reale Acc. dei Lincei*, t. VI, n° 9; mai 1897.

Production et prix de revient de l'énergie électrique;

Par J.-S. Raworth (1).

Depuis quelques années, un certain nombre de compagnies de tramways électriques européennes, même des plus importantes, telles que celles du Havre, de Genève, de Dresde, de Hambourg, au lieu d'établir une usine et d'engendrer elles-mêmes le courant nécessaire à la traction, ont traité avec des stations centrales d'éclairage électrique et leur achètent le courant à tant le kilowatt-heure. Toutes deux peuvent y trouver leur compte : la compagnie de tramways en s'affranchissant des soins de l'exploitation et des charges financières résultant des frais de premier établissement de l'usine; la compagnie d'éclairage en augmentant son chiffre d'affaires d'une somme importante sans augmenter proportionnellement ni son capital ni ses frais d'exploitation par suite de la meilleure utilisation du terrain, du matériel et du personnel.

Mais une question se pose immédiatement à l'esprit : quel doit être le prix de vente du kilowatt-heure pour que le bénéfice de l'association ne soit pas entièrement retiré par l'un des deux associés? Les prix de vente ont varié depuis 17,5 centimes jusqu'à 11,4 centimes; à Cologne, l'usine centrale d'éclairage électrique vend le kilowatt-heure à l'usine d'accumulateurs de M. Pollak à raison de 9 centimes. Aussi, bien que les frais de production du courant ne représentent qu'une faible partie des frais totaux d'exploitation des tramways électriques, certaines compagnies de tramways ont réclamé et obtenu des diminutions de prix importantes, car elles

(1) Communication faite à *The Institution of Electrical Engineers*.

auraient tout avantage à fabriquer elles-mêmes leur courant au prix où on le leur vendait.

Le travail de M. Raworth présente donc un intérêt assez grand.

Nous avons expliqué jadis [1] que M. Willans avait déduit de ses expériences la loi d'après laquelle on peut calculer la dépense de vapeur d'un moteur à une charge quelconque; cette loi peut s'énoncer ainsi :

1° Le poids de vapeur dépensé par cheval indiqué dans un moteur réglé par une valve à papillon est constant pour toutes les puissances; en d'autres termes, il faut la même quantité additionnelle de vapeur pour élever la puissance de 20 à 30 chevaux ou pour l'élever de 90 à 100 chevaux;

2° Cette règle ne se maintient pas pour les très faibles puissances, par suite des frottements, de la condensation initiale, du travail effectué contre la pression atmosphérique; un moteur de 100 chevaux tournant à vide indiquera au moins 10 chevaux au cylindre et demandera une beaucoup plus grande quantité de vapeur pour donner ce travail qu'il n'en demandera pour les 10 chevaux suivants, en raison des pertes signalées plus haut. En général, la consommation de vapeur à vide d'un moteur est égale à environ un tiers de la consommation totale à pleine charge.

Ainsi, dans les exemples cités par M. Willans, les 10 premiers chevaux indiqués nécessitèrent 267 kg d'eau par heure, tandis que la consommation additionnelle par puissance de 10 chevaux n'était que de 62,5 kg. Lorsque ce moteur donnait 1 cheval effectif, il dépensait donc $267 + 6,250 = 273,25$ kgr d'eau.

La consommation de vapeur est donc représentée par une droite telle que AB (fig. 1). Si, dans cette figure nous prenons la droite CB, les ordonnées de chacun de ces points seront proportionnelles aux chevaux indiqués et la différence entre les ordonnées de deux points des deux droites AB et CB sera proportionnelle à la perte correspondant à la puissance indiquée. D'autre part, les frottements, l'excitation, en un mot toutes les pertes de la dy-

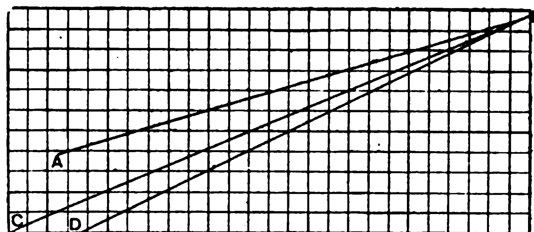


Fig. 1.

namo tournant à vide exigent une puissance correspondant à CD chevaux indiqués; si l'on mène la droite DB, la différence des ordonnées de deux points de AB et de DB situés sur une même verticale sera proportionnelle aux pertes totales.

On se rend compte aussi de l'effet désastreux des faibles charges : un moteur demandant seulement 10,67 kg de vapeur par cheval électrique à pleine charge, c'est-à-dire un moteur très économique, consommait à mi-charge 14,53 kg et à quart de charge 23,61 kg.

Ces résultats peuvent être améliorés d'abord en augmentant le rendement du moteur et de la dynamo, ce qui a pour effet de rapprocher le point D (fig. 1) en E (fig. 2), plus près de

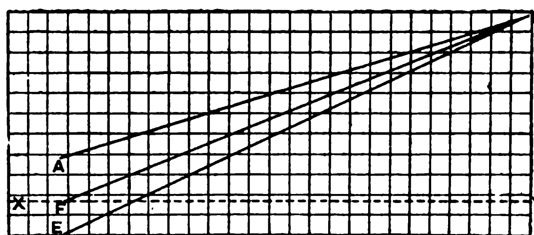


Fig. 2.

l'origine et par conséquent de diminuer l'écartement des lignes AB et EB; on peut ainsi gagner de 3 à 4 p. 100; ensuite, on peut employer la condensation, ce qui a pour effet de remonter la ligne des abscisses en XY et, partant, de rapprocher la droite EB, en FB. Le bénéfice retiré de la condensation est beaucoup plus marqué; c'est ainsi que les chiffres

[1] *La Lumière Électrique*, t. XLIV, p. 82, 9 avril 1892.

relatifs au moteur ci-dessus se trouvent réduits :

A pleine charge à	9,08 kg	au lieu de	10 67 kg	
A mi-charge	10,90	»	14,53	»
A quart de charge	14,98	»	23,61	»

La loi de Willans ne s'applique pas aux machines à détente variable; dans celles-ci, la caractéristique de la consommation totale de vapeur au lieu d'être représentée par une droite affecte l'allure d'une courbe dont la concavité est tournée vers le haut, comme l'indique la figure 3. On voit sur cette figure que,

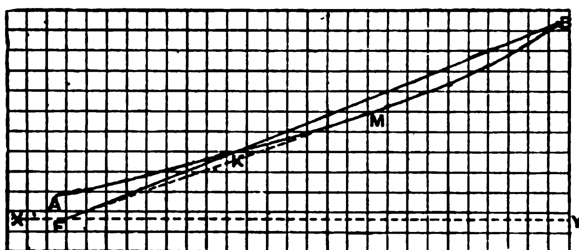


Fig. 3.

depuis le point B qui représente le maximum de charge jusqu'au point K qui représente environ le tiers de cette charge en débit électrique, la consommation de vapeur par kilowatt-heure produit est moindre qu'à pleine charge; depuis le point K, lorsque la charge diminue encore jusqu'à s'annuler, la consommation de vapeur par kilowatt-heure produit devient plus considérable qu'à pleine charge, tout en restant toujours moindre que dans le cas des machines à détente invariable. Le maximum d'économie est obtenu lorsque la puissance engendrée correspond au point M où la droite menée par F est tangente à la courbe AB.

Dans une machine à détente variable travaillant avec une pression constante aux chaudières, la pression moyenne dans le cylindre à basse pression, ou en d'autres termes la puissance développée, indique à quel point de la course l'admission a été coupée; ainsi, une pression moyenne élevée indique une admission prolongée, tandis qu'une pression moyenne de faible valeur indique une admission de petite durée; par conséquent, pour obtenir une détente aussi grande, c'est-à-dire aussi économique que possible, la pression moyenne doit nécessairement être beaucoup en dessous du maximum pratique qui est d'environ 3,5 kg-cm²; au point de vue qui nous occupe cela signifie que le moteur doit travailler à faible charge [1].

L'application de ces principes aux moteurs des dynamos servant soit à l'éclairage, soit à la traction n'est pas toujours bien comprise.

Dans l'industrie de l'éclairage, le débit varie suivant les heures de la journée et suivant les saisons, mais il ne varie pas brusquement; on peut donc diviser le matériel en un certain nombre d'unités de puissance convenable qu'on met en marche successivement de façon que toutes les machines en marche travaillent à pleine charge ou à peu près, c'est-à-dire dans les conditions les plus économiques. Mais il ne faut pas cependant exagérer cette division du matériel, car elle entraîne avec elle de nombreux inconvénients : complication de la tuyauterie, entraînant une perte constante assez importante par condensation, emploi de moteurs moins économiques, augmentation des frais d'entretien et, par-dessus tout, la nécessité d'une direction exercée pour faire ces changements de marche des moteurs, ce qui augmente considérablement la main-d'œuvre.

Dans l'industrie de la traction, les conditions sont différentes; le débit varie peu avec les heures de la journée et les saisons — dans les installations moyennes, tout au moins, où les départs ont lieu à intervalles réguliers, — mais la charge oscille brusquement à tout instant, suivant que les voitures s'arrêtent ou démarrent, tant sur des rampes ou sur des pentes, etc. Dans ces conditions,

(1) Rappelons que ces considérations ne s'appliquent qu'aux machines à condensation; lorsque des moteurs compound ou à triple expansion travaillent à faible charge, l'admission étant très réduite, la pression peut descendre dans les cylindres à basse pression au-dessous de la pression atmosphérique, et, dans ces conditions, les pistons de ces cylindres absorbent de l'énergie au lieu d'en engendrer.

il est impossible de proportionner la puissance des moteurs en marche au débit à tout instant, et l'on est conduit à employer un seul groupe générateur capable de fournir la puissance maxima exigée. Il est nécessaire, évidemment, de prévoir un groupe de puissance égale comme réserve en cas d'accident.

Voyons, dans ces conditions, quel serait le prix de revient du kilowatt-heure produit. Prenons comme exemple un réseau de moyenne importance dépensant 1 000 000 kilowatts-heure par an, avec une durée annuelle de service de 5 720 heures. Le débit moyen serait de 174,82 kilowatts, correspondant à un débit maximum de 350 kilowatts, soit 470 chevaux électriques. La puissance indiquée du moteur devrait donc être :

Puissance électrique	470 chx
Perte dans la dynamo $\frac{6}{94}$ . . .	30 »
Perte dans le moteur $\frac{10}{90}$	55,5 »
Total	555,5 chx

La puissance moyenne indiquée serait de :

$\frac{470}{2}$ = ...	235 chx
Perte dans la dynamo	30 »
Perte dans le moteur	55,5 »
Total	320,5 chx

La pression moyenne dans le cylindre à basse pression serait dans ces conditions de 3 kg-cm² au maximum et de 1,75 kg-cm² en moyenne. Cette dernière pression, avec une pression de 10,5 kg-cm² à l'admission et un vide de 68 cm au condenseur correspond à peu près à une détente de 20 volumes. La pratique montre que dans ces conditions, la dépense de vapeur par cheval-heure indiqué est de 0,760 kg environ; en augmentant ce chiffre de 20 p. 100 pour parer à l'imprévu, on arrive à une consommation de vapeur de 0,912 kg par cheval-heure indiqué. En admettant une vaporisation d'eau de 1 kg par kilogramme de charbon, la dépense annuelle de combustible serait de :

$$0,912 \times 320,5 \times 5720 = 1672 \text{ tonnes},$$

correspondant à 1,672 kg de charbon par kilowatt-heure produit, chiffre qui n'est jamais atteint en bonne pratique; (à Brooklyn, la dépense de charbon est de 1,09 kg par kilowatt-heure produit au tableau de distribution).

Dans ces conditions, les dépenses annuelles seraient de :

Charbon 1672 tonnes à 12,50 fr. .	20900 fr
Mécaniciens.	6000 »
Chauffeurs	3600 »
Aide	1500 »
Graissage, etc.	1000 »
Total.	33000 fr

soit 3,3 centimes par kilowatt-heure produit.

Les frais de premier établissement seraient de :

Moteurs, dynamos, etc	275000 fr
Bâtiments.	125000 »
Terrain	25000 »
Total	425000 fr

qui donneraient lieu aux charges suivantes :

Impôts, etc	3125 fr
Réparations :	
2,5 p. 100 sur 275000.	6875 »
1,0 » 125000.	1250 »
Dépréciation :	
5,0 p. 100 sur 275000.	13750 »
2,0 » 125000.	2500 »
Total.	27500 fr

soit 2,75 centimes par kilowatt-heure.

Il faut aussi compter les appointements de l'ingénieur chargé de la direction, soit 6000 francs par an, ou 0,6 centimes par kilowatt-heure, ce qui porte les dépenses totales à 6,65 centimes par kilowatt-heure produit.

Au prix de vente de 10 centimes par kilowatt-heure on réaliserait un bénéfice de 3,35 centimes par kilowatt-heure ou 33 500 fr. par an, ce qui représente 7,88 p. 100 du capital engagé.

D'autre part, comme cette exploitation se ferait dans la même usine que la production du courant d'éclairage, l'ingénieur-directeur serait le même pour les deux services; pen-

***

dant la journée les machines d'éclairage seraient alimentées par les chaudières servant à l'exploitation des tramways, ce qui diminuerait les dépenses de combustible et d'entretien et permettrait de supprimer un chauffeur. L'ensemble de ces économies s'élève à environ 10 000 fr. par an. Le bénéfice total serait donc en réalité de 43 500 fr., soit 10,23 p. 100 du capital engagé, ce qui est un résultat très satisfaisant, d'autant plus que toutes les dépenses ont été comptées très largement et que l'installation est relativement peu importante.

En résumé, tant que le prix du charbon ne dépasse pas celui qui est prévu, le prix de vente de 10 centimes le kilowatt-heure est suffisamment rémunérateur. G. P.

Sur les stations centrales mixtes pour l'éclairage et la traction électriques;

Par P. Van Vloten.

A l'occasion de la neuvième Assemblée générale de l'Union internationale permanente de tramways, tenue l'an dernier à Stokholm, un questionnaire avait été adressé aux exploitants des réseaux de tramways électriques leur demandant d'indiquer la consommation moyenne d'énergie électrique par voiture-kilomètre et par tonne-kilomètre, le prix de revient du kilowatt-heure en faisant entrer dans son établissement certaines dépenses bien précisées ou le prix d'achat du kilowatt-heure dans le cas où l'énergie serait fournie par une usine d'éclairage ou de force motrice indépendante.

Les divers points visés par ce questionnaire présentent évidemment le plus grand intérêt; malheureusement les réponses qui ont été faites n'ont pas permis de tirer de conclusions précises et le rapporteur de la question, M. P. van Vloten, ingénieur à Bruxelles, a dû borner son rapport à l'exposé de considérations générales sur le rendement des installations motrices, l'influence du coefficient de charge sur la consommation du combustible, le poids de vapeur consommé par les divers types de machines pour fournir un kilowatt-heure, etc., considérations déjà exposées dans cette Revue.

Toutefois il est un point de ce rapport qui présente un intérêt particulier : c'est celui où le rapporteur discute s'il est avantageux d'utiliser les stations centrales d'éclairage existantes pour la fourniture de l'énergie nécessaire à la traction électrique, et, inversement, s'il convient d'adjoindre aux stations centrales de tramways en exploitation des groupes générateurs destinés à l'éclairage, question qui est, depuis quelque temps déjà, l'objet de controverses nombreuses en Amérique.

A titre d'exemple d'usines dont l'énergie est utilisée en partie pour la traction et en partie pour l'éclairage le rapporteur prend les stations centrales de Hambourg qui, outre l'éclairage, alimentent un réseau de tramways très important, couvrant une zone d'environ 80 km², desservi par 172 voitures motrices et 60 voitures de remorque et à la veille de subir une extension considérable [1].

L'énergie électrique nécessaire à cette double exploitation est fournie par deux stations. La première comprend deux machines de 500 à 600 chevaux et deux batteries d'accumulateurs servant à l'éclairage; de plus 4 machines de même puissance desservent les tramways, l'une d'elles servant de réserve.

La seconde station est composée d'unités plus fortes, sa puissance totale est prévue pour 5 000 chevaux. La réserve est constituée soit par des machines à lumière de 220 volts, soit par des générateurs de tramways donnant 550 volts, qui peuvent, malgré leurs voltages différents, fournir l'énergie électrique au voltage convenable, soit au réseau d'éclairage, soit aux lignes de tramways. Dans ce but, la station comprend plusieurs groupes de dynamos à 220 volts et à 550 volts de même puissance et accouplées deux à deux; si la réserve motrice de l'éclairage, par exemple, ne suffit pas à un moment donné, on met en marche la réserve motrice de la

---

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 332, 8 mai 1897.

traction, le courant à 550 volts ainsi produit est envoyé dans une dynamo de même voltage d'un des groupes et cette dynamo, fonctionnant comme moteur, entraîne la dynamo de même puissance de 220 volts servant à l'éclairage; inversement si la réserve de force motrice de la traction ne suffit plus, c'est la dynamo à lumière d'un des groupes qui sert de moteur et actionne la dynamo de traction correspondante. Cette particularité, que l'on retrouve également dans la station mixte d'Aix-la-Chapelle, permet de réduire considérablement l'importance de la réserve de l'un et l'autre service.

Dans son rapport M. van Vloten donne plusieurs tableaux très complets des relevés d'exploitation de la première de ces usines d'avril à décembre 1895, période pendant laquelle le nombre des voitures en service était moins grand que celui indiqué plus haut. Nous en extrayons les relevés du dernier mois, décembre 1895 :

Puissance maxima exigée pour l'alimentation de :

31861 lampes à incandescence . .	1538350 watts
1342 lampes à arc.	432700 »
130 moteurs	242750 »
Total	2213800 watts

Temps de service :

Des 5 machines, pendant le mois.	2367 heures
» pendant le jour .	76,4 »
Moyen de chaque machine, par jour.	15,3 »

Charge de chaque machine en p. 100 de son travail normal, rapportée au :

Temps de service moyen	88
Service ininterrompu pendant 24 heures . .	56

Énergie produite par les machines pendant le mois . . . . 695263 kws-heure

Énergie absorbée et rendue par les accumulateurs :

Chargement.	46695 »
Déchargement	39798 »
Effet utile des accumulateurs	87,3 p. 100
Perte des accumulateurs en p. 100 de la production totale	0,9 »

Énergie fournie aux feeders. . 687323 kws-heure

Énergie utilisée :

A l'intérieur des usines . . .	5879 »
Pour l'éclairage particulier .	187611 »
Pour l'éclairage public . . .	7404 »
Pour la traction des tramways	385318 »
Total	586211 kws-heure

Pertes dans les conducteurs. .	14,8 p. 100
Rendement.	84,3 »
Kilomètres-voitures automotrices + 1/3 kilomètres-voitures remorquées	805810
Nombre de kilowatts-heure par kilomètre-voiture. . . .	477

Énergie produite journellement :

Maxima	25632 kws-heure
Moyenne	22428 »

Consommation de combustible, allumages compris :

Totale.	906901 kg
Par kilowatt-heure produit	1,30 »
» fourni.	1,55 »

Contributions, loyers, assurances, etc :

Dépense totale	4375 fr
Par kilowatt-heure produit	0,63 cent
» fourni.	0,75 »

Dépenses d'administration, appointements et salaires, y compris les gratifications de fin d'année :

Totales.	15208 fr
Par kilowatt-heure produit	2,2 cent
» fourni.	2,6 »

Frais d'entretien et de réparations, prime pour accumulateurs :

Dépense totale	5033 fr
Par kilowatt-heure produit	0,71 cent
» fourni.	0,86 »

Dépense de combustible :

Totale	18755 fr
Par kilowatt-heure produit	2,70 cent
» fourni.	3,10 »

Dépenses pour objets de nettoyage, de graissage, etc :

Totales.	2108 fr
Par kilowatt-heure produit	0,30 cent
» fourni.	0,35 »

Dépenses totales d'exploitation pendant le mois :

Totales.	45479 fr
Par kilowatt heure produit	6,54 cent
» fourni.	7,70 »

Le prix de revient de l'énergie électrique est donc des plus bas ; si l'on compare les prix relatifs aux divers mois, d'avril à décembre, on constate que, conformément à ce qui était à prévoir et comme le fait ressortir le tableau suivant, ce prix diminue en même temps que la quantité d'énergie produite augmente.

	Kilowatts-heure.		Prix de revient du kilowatt-heure.	
	Fournis aux feeders.	Utilisés.	Produit.	Fourni.
Avril	373248	298061	9,22 c	11,7 c
Mai	363822	290898	8,85	11,2
Juin	407968	332545	8,99	11,2
Juillet	417363	335644	7,22	9,1
Août	432422	366661	6,66	8,3
Septembre	502232	415430	7,15	8,8
Octobre	593517	487472	6,40	8,0
Novembre	647647	535910	6,28	7,7
Décembre	687323	586211	6,54	7,7

Se basant sur cette diminution continue du prix de revient du kilowatt-heure, M. van Vloten pense qu'avec les nouvelles machines de 1 000 à 1 200 chevaux consommant une moins grande quantité de vapeur par cheval indiqué, ce prix doit se rapprocher de 6 à 6,5 centimes. Il ajoute que dans une station uniquement consacrée à un service de traction il y aurait certainement une nouvelle diminution, le matériel d'éclairage d'une station mixte comme celles de Hambourg, ne fonctionnant que pendant peu de temps d'une façon économique et l'exploitation d'un réseau d'éclairage étant plus onéreuse que celle d'un réseau de traction à cause de la nécessité d'un réglage soigné de la tension qui exige un personnel plus nombreux et des appareils plus compliqués.

Pour ces raisons M. van Vloten ne pense pas qu'en dehors de cas tout à fait particuliers (insuffisance des fonds nécessaires à l'établissement d'une station, réseau de faible étendue, conditions imposées par les administrations municipales) une entreprise de traction ait intérêt à acheter l'énergie qui lui est nécessaire à une station d'éclairage, cette solution ayant d'ailleurs plusieurs inconvénients : diminution de l'indépendance de l'exploitant par l'immixtion d'un tiers dans l'exploitation, causes continuelles de conflits entre les intéressés par suite d'accidents, d'interruptions, de dérèglements des compteurs.

M. van Vloten examine aussi la solution inverse : la fourniture de l'éclairage par une usine de traction. Comme l'hiver le service de traction est peu intense, au rebours du service d'éclairage, et qu'en été c'est précisément l'inverse qui a lieu, il s'établira forcément un certain équilibre dans la consommation d'énergie pendant les diverses saisons et si les mêmes machines génératrices peuvent servir indifféremment à assurer les deux services par l'intermédiaire de transformateurs, la réserve pourra avoir une moindre importance, d'où une moindre dépense d'installation. Toutefois à cause de la perte d'énergie causée par l'emploi des transformateurs tournants, cette économie peut être illusoire et l'auteur déconseille cette solution.

En résumé, ajoute-t-il, il semble résulter de ces considérations que les entreprises d'éclairage ont un intérêt évident à fournir l'énergie nécessaire aux tramways; d'autre part, les avantages que les tramways peuvent retirer de cette combinaison semblent assez problématiques pour les installations importantes. Enfin, à moins de pouvoir compter sur un tarif élevé, la fourniture accessoire de l'énergie électrique pour l'éclairage ne paraît pas être un genre d'opération suffisamment profitable pour pouvoir être conseillé d'une manière générale aux entreprises de traction.

J. B.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 4 juin 1897.

M. Pérot, professeur d'électricité industrielle à Marseille, présente l'*électromètre*

absolu interférentiel pour faibles potentiels qu'il a construit avec M. Fabry, maître de conférences à la Faculté des sciences de la même ville.

Nos lecteurs connaissent déjà, par une description sommaire [1], l'appareil idiostatique dans lequel la variation de l'écartement de deux surfaces de verre faiblement argentées, qui oscille autour de 0,09 mm, est déduite de l'observation de franges d'interférence. Nous n'entrerons pas dans le détail de la partie optique, qui n'a pas d'intérêt spécial pour les électriciens. Donnons comme résultat la diminution de voltage spontané des accumulateurs Fulmen qui est de $\frac{1}{100\,000}$ de sa valeur pendant une heure et la valeur de rapport v des unités qui, d'après les déterminations de poids faites au Bureau international, se trouvent être 300,03 avec une erreur moyenne de $\pm$ 0,01. On avait admis la force électromotrice en volts de l'étalon Latimer-Clark donnée par M. Limb.

M. Pérot dit en terminant quelques mots du *volmètre électrostatique interférentiel* qu'il a décrit à la Société internationale des électriciens.

M. Villard a perfectionné les *tubes de Crookes pour radiographies*. Ces tubes présentent, comme l'on sait, divers inconvénients : leur durée est très courte ; la nature des rayons émis varie pendant la marche ; enfin l'échauffement change continuellement la valeur de la résistance. M. Villard a introduit trois perfectionnements :

1° On peut prolonger la durée de l'anticathode en renonçant à l'emploi du platine. Ce métal fournit de mauvais résultats ; sous l'action du flux cathodique convergent il s'emboutit et se perce ; en 10 minutes une lame de 0,3 mm d'épaisseur, dont la température ne dépasse pas celle du rouge cerise sombre, est mise hors service. Le fer et le nickel fontionneraient aussi bien que le platine ; l'iridium pur serait le meilleur métal à employer ; il ne s'emboutit pas et ne noircit pas d'une façon appréciable les ampoules.

2° On peut régénérer le tube devenu trop résistant au moyen d'une électrode auxiliaire que M. Villard appelle *compensateur de vide*. Le magnésium convient très bien ; quand il sert comme cathode il dégage des gaz ; M. Villard, pressé par l'heure, n'a malheureusement pas le temps de nous expliquer comment on peut forcer le courant, qui ne passe plus par le trajet ordinaire, à traverser le tube quand on emploie cette nouvelle cathode. Quoi qu'il en soit, l'expérience répétée devant la Société réussit parfaitement ; la distance explosive nécessaire pour faire passer la décharge dans un tube est rendue trois ou quatre fois plus petite après que la nouvelle cathode a fonctionné une demi-minute. L'aspect de la lueur bleue permet de juger le résultat atteint ; il n'y a d'ailleurs pas à craindre que le but soit dépassé ; la quantité de gaz qu'il faut introduire est cinq ou six fois plus grande que la quantité théorique et dès que le tube fonctionne à nouveau sa résistance recommence à croître très vite. Enfin on peut, en prenant le magnésium comme anode, résorber les gaz ; il faut que l'étincelle soit interrompue ou qu'on se serve d'un trembleur de Foucault.

3° On peut faire varier à volonté la résistance d'un tube en mettant deux cathodes ; la première est reliée directement à la bobine ; on la touche par une tige de métal et une étincelle jaillit entre cette tige et la deuxième cathode ; la résistance du tube diminue aussitôt (avec deux anodes on n'observe rien de semblable) et on peut lui donner une valeur entre deux limites données en réglant la position de la tige. L'expérience est répétée au moyen d'un tube portant deux cathodes concentriques et coaxiales ; le maximum de puissance est atteint au moment où la lueur verte, extrêmement brillante au voisinage des cathodes, est limitée franchement par un plan diamétral bien marqué. Le tube ne noircit pas ; le verre acquiert dans sa masse une

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 278, 6 février 1897.

coloration violette qui est définitive. M. Chabaud a réussi à construire des tubes avec leurs cathodes ayant rigoureusement même foyer. M. Villard fait fonctionner un tube à anticathodes de nickel et un autre portant une lame d'iridium. C. R.

Propriétés des rayons cathodiques simples. Relations avec les osicllations électriques simples;

Par H. Deslandres [1].

« Les rayons cathodiques offrent une direction bien rectiligne et des propriétés toujours identiques, lorsqu'on observe, dans les conditions ordinaires, les ombres à bords très nets, portées par un corps interposé. Mais, si le corps est un conducteur en communication avec l'extérieur, et relié à la terre ou au pôle négatif de la bobine, les ombres s'élargissent, les rayons sont repoussés et se courbent. En fait, ainsi que je l'ai montré dans une note récente [2], le faisceau cathodique se divise alors en plusieurs faisceaux distincts qui sont inégalement déviés et restent en général enchevêtrés. L'emploi d'un écran percé d'une fente fine, avec un fil métallique placé en arrière et relié à la terre [3], permet de distinguer aisément les divers faisceaux et d'obtenir, séparés par la déviation inégale, les différents rayons auparavant réunis.

» J'appelle *rayons cathodiques simples* ces rayons inégalement déviés; ils paraissent avoir la même importance que les rayons simples du spectre des sources lumineuses; aussi ai-je fait une étude spéciale de ces rayons, qui n'ont pas encore été observés isolés.

» Dans le tube employé [4], la cathode est un disque plan rectangulaire; l'écran à fente fine en est éloigné de 0,04 m; en arrière, à 0,01 m, se trouve le fil relié à la terre; et, plus loin, à 0,05 m, on observe les rayons ou plutôt les raies cathodiques sur une plaque phosphorescente divisée.

» Le tube a été illuminé d'abord par une bobine de Ruhmkorff ordinaire, dont les bornes sont reliées aux électrodes par de simples fils. Les rayons déviés forment alors, sur la plaque phosphorescente, un véritable spectre, long de 14 mm, formé par des raies fines que séparent des intervalles obscurs ou brillants (voir les figures de la page 465).

» J'ai étudié d'abord les spectres cathodiques que fournissent quatre cathodes formées de quatre métaux (aluminium, zinc, argent, cuivre), et disposées de manière à se substituer exactement l'une à l'autre. Les spectres sont les mêmes; les intensités, seules, ont été trouvées différentes, l'aluminium ayant le rayonnement le plus fort.

» L'influence du gaz ambiant n'a pu être reconnue, car, à cause de la graisse des robinets, le gaz intérieur, aux basses pressions, est formé seulement par des hydrocarbures.

» Cependant le tube était relié à la trompe à mercure, et la pression du gaz, ou, pour mieux dire, la différence de potentiel aux électrodes était mesurée avec un micromètre à étincelles placé en dérivation sur les électrodes. Or, la distance explosive du micromètre variant de 0,5 mm à 30 mm, les spectres cathodiques n'ont pas montré de variations notables; on a observé seulement, aux pressions très faibles, l'apparition de raies nouvelles, très instables, qui prolongent les précédentes.

» Par contre, lorsqu'on fait varier le mode d'excitation de la décharge, les variations sont grandes. Avec une même bobine, les spectres changent lorsque l'on réunit à la cathode l'une ou l'autre des bornes du circuit induit. Avec des bobines ayant des enroulements différents, les variations sont encore plus fortes. Lorsqu'on augmente la longueur du fil cathodique (allant de la borne à la cathode), les déviations augmentent, la figure

---

[1] *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 1297, séance du 8 juin 1897.

[2] *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 464, 29 mai 1897.

[3] La répulsion du rayon a lieu encore si l'on relie le fil à un conducteur; elle augmente avec la capacité du conducteur.

[4] Ce tube a été construit par la maison Chabaud.

des raies restant semblable; l'inverse a lieu avec le fil anodique. Mêmes résultats si l'on ajoute une capacité. Lorsqu'on fixe aux bornes un condensateur en dérivation, la déviation diminue d'autant plus que la capacité est plus grande.

» Le fait de toucher le verre du tube avec la main donne un résultat curieux : les raies se resserrent, la déviation diminuant d'autant plus que la surface en contact avec la main est plus large. Il n'y a pas lieu ici de considérer un rapprochement ou un éloignement des rayons par rapport à la main; le résultat est le même, quel que soit le point touché.

» L'influence des conducteurs et des appareils qui concourent à la décharge est évidente et les travaux importants de Herz, Poincarré, Blondlot et autres sur la propagation des ondes électriques, sur les décharges continues et oscillantes indiquent la voie à suivre pour aborder la question. D'ailleurs, Wiedemann et Ebert ont déjà appelé l'attention sur l'influence possible des oscillations électriques dans la décharge cathodique et ont décrit les apparences de la décharge, surtout autour de la cathode, dans des cas d'excitation très divers.

» Je me suis proposé de reconnaître le spectre cathodique, lorsque le tube à vide est excité par une oscillation électrique simple. A cet effet, j'ai employé un appareil Tesla-d'Arsonval, comprenant une bobine de Ruhmkorff, un condensateur avec micromètre à étincelles et un transformateur plongé dans l'huile. Or, par un réglage convenable du condensateur et surtout de l'étincelle, j'ai pu obtenir un spectre cathodique réduit à une seule raie fine, d'ailleurs fortement déviée. Ce résultat a la même importance que la réalisation d'une source lumineuse monochromatique.

» Si ensuite on augmente progressivement la distance explosive du micromètre, la raie simple cathodique s'élargit d'abord et se divise en plusieurs raies très mobiles, puis se rétrécit de nouveau et se condense en une seconde raie fine et fixe, un peu moins déviée que la précédente, et qui correspond à un courant alternatif de fréquence moindre.

» Mais la raie fine unique a été obtenue plus simplement encore avec une bobine ordinaire et un petit condensateur intercalé sur le fil cathodique. La raie unique a la même déviation à peu près qu'avec le dispositif précédent.

» La similitude des résultats obtenus avec deux appareils différents est curieuse. Elle peut tenir à une coïncidence, où à plusieurs causes telles que l'existence d'une période propre au tube, ou l'intervention d'harmoniques supérieurs. De nouvelles recherches et la mesure des périodes des oscillations semblent nécessaires pour éclaircir ce point.

» De toute façon, ces expériences, et, en particulier, l'expérience avec le dispositif Tesla-d'Arsonval conduisent à la conclusion suivante :

» *Les rayons cathodiques simples* [1] *correspondent à des oscillations électriques simples.*

» De plus, le tube de Crookes, complété par les dispositifs décrits ci-dessus, constitue un appareil qui s'annonce comme capable de fournir des indications rapides et précieuses sur les variations électriques des conducteurs soumis à de hautes tensions.

» Ces recherches ont été faites dans le laboratoire de spectroscopie de l'Observatoire, avec le concours de M. Landrin, licencié ès sciences et de M. Millocheau, astronome assistant. »

---

[1] La propagation de l'oscillation ne peut expliquer le rayon cathodique; je propose l'hypothèse suivante : les atomes gazeux sont repoussés par la cathode à la vitesse moyenne de 200 km par seconde, et de plus ont un mouvement de vibration ou de rotation de même période que l'oscillation électrique. Or tous les corps voisins vibrent par induction; il y aurait entre ces corps et le rayon des répulsions et attractions analogues à celles que Bjerkness a reconnues entre des corps vibrant dans un même milieu. Et, en effet, lorsque le corps déviant qui était cathode devient anode, la répulsion se change en attraction. Lorsque le corps est à la terre, j'ai observé parfois des rayons attirés et non repoussés. Il faudrait vérifier que, avec un même rayon et un même corps, pour des distances croissantes à la cathode, la déviation est alternativement répulsive et attractive.

Emploi des électrodes platinées dans la mesure des résistances électrolytiques ;

Par F. KOHLRAUSCH [1].

La solution qui donne les meilleurs résultats pour la platinisation est celle qu'emploient MM. Lummer et Kurlbaum dans la construction de leurs bolomètres : elle renferme 1 partie de chlorure platinique et 0,008 d'acétate de plomb dans 30 parties d'eau.

L'emploi des électrodes platinées permet d'obtenir encore de bonnes mesures des résistances électrolytiques avec des électrodes de surface relativement très faibles, ou avec des solutions peu résistantes. C'est ainsi qu'on a obtenu le même résultat à 1/2 p. 100 près en comparant les résistances de deux vases, successivement remplis d'une solution normale de chlorure de sodium et d'eau des conduites. D'autre part, on peut réaliser des mesures encore suffisamment exactes avec des électrodes n'ayant qu'une surface de 1/2 cm^2. Le minimum du téléphone est d'autant plus net que la couche de platine est plus épaisse. L'intensité du courant pendant l'électrolyse est réglée de manière que les gaz se dégagent assez vivement à la cathode et faiblement à l'anode : de temps à autre on intervertit les pôles, en changeant la position de la cathode pour éviter que la surface ne soit striée; chaque électrode doit avoir finalement fonctionné comme cathode pendant un quart d'heure. Ainsi traitées, ces électrodes permettent de mesurer avec une netteté suffisante du minimum, c'est-à-dire à 0,001 ou 0,002 près, une résistance de 20 ohms.

Dans les mesures qui ne demandent pas une précision extraordinaire, on pourra donc se contenter d'employer les récipients qui vont être décrits et qui ont l'avantage de ne nécessiter que peu de platine et peu de liquide.

La figure 1 représente un modèle de récipient à électrodes fixes, scellées dans le verre. Les fils qui servent de prises de courant sont maintenus en outre par un bourrelet de cire, qui les empêche de se courber et de faire rompre le verre : le bourrelet de cire est lui-même protégé par un petit chapeau de métal, Deux tubes latéraux servent à introduire le liquide et à laisser échapper l'air. Ce modèle suffit pour étudier les acides qui conduisent bien.

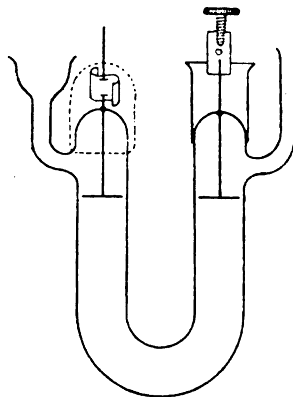


Fig. 1.

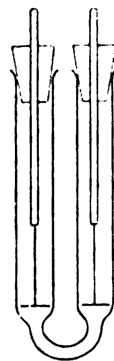


Fig. 2.

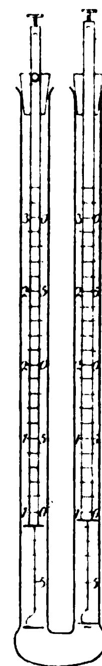


Fig. 3.

La figure 2 représente un autre modèle qui exige une quantité moindre de liquide que le précédent : les prises de courant traversent des bouchons de liège ou de caoutchouc et seule leur partie inférieure est en platine : 1 centimètre cube de liquide suffit pour la mesure.

Lorsqu'on veut étudier des liquides passablement conducteurs, les récipients ci-dessus décrits devraient recevoir des dimensions qui les rendraient fort incommodes. Si on veut effectuer les mesures seulement à quelques mil-

[1] *Wied. Ann.*, t. LX, p. 315-332, 1897.

lièmes près, ce qui est la plupart du temps suffisant, il est beaucoup plus simple de rendre les électrodes mobiles : on marque une série de traits sur les branches du tube et on détermine la capacité de résistance correspondant à chaque trait, avec un liquide dont la conductibilité est connue. Pour simplifier les calculs, ont peut marquer les traits de manière que ces capacités de résistance soient des nombres ronds, par exemple : 5, 10, 20, 40..., etc.

Un tube gradué ainsi peut aussi être employé directement à la détermination des résistances liquides. Pour cela, on partage le courant d'une bobine d'induction entre deux résistances égales (comprenant de 10 à 100 ohms) : à ces résistances aboutissent d'une part une résistance r connue, d'autre part la résistance liquide cherchée, c'est-à-dire le tube gradué (fig. 3). Le fil du téléphone est relié comme d'habitude aux deux points de jonction. On déplace les électrodes jusqu'à ce que le son du téléphone devienne minimum : à ce moment, la colonne de liquide comprise entre elles présente une résistance r. Le zéro de la graduation est supposé au milieu du tube horizontal qui joint les deux branches et la graduation court symétriquement sur celles-ci. Quand les électrodes sont à la même hauteur, telle que la capacité de résistance soit 10, on marque vis-à-vis le chiffre 5. Laissant fixe l'une des électrodes, on soulève l'autre, jusqu'à ce que la capacité soit 15 : on marque 10 en face de la dernière électrode et ainsi de suite. On partage ensuite les intervalles en divisions d'égale longueur. Bien entendu, si on dispose d'un rhéostat avec lequel on peut donner plusieurs valeurs à la résistance de comparaison r, la graduation n'a pas besoin d'être très longue, il suffira, en général, que la plus grande capacité de résistance soit égale à 10 fois la plus petite.

Pour calibrer le tube, on le remplit avec un liquide dont la conductibilité x est connue : on déplace les électrodes jusqu'à ce que la résistance du liquide devienne $r = \frac{c}{x}$ et on obtient ainsi la position des traits qui correspondent à la capacité de résistance C. Cette opération devrait être faite dans un bain à température constante : mais comme on ne peut tracer les traits dans l'intérieur du bain, on marque d'abord sur le tube une graduation provisoire à laquelle on rapporte les lectures.

Lorsqu'un tube a une section de q cm², la hauteur h dont il faut déplacer les électrodes pour faire varier la capacité de ΔC est égale à $q \Delta C$. Si on connaît q, il suffit de déterminer expérimentalement deux traits qui comprennent entre eux la partie courbée du tube et de continuer ensuite la graduation par des mesures de longueur; la section q se détermine par un jaugeage au mercure.

Enfin, on peut aussi graduer les deux branches en millimètres, mais chaque observation nécessite alors un petit calcul.

En général, le noir de platine se laisse mouiller aisément par l'eau : cependant il arrive que certaines électrodes ne se mouillent pas et doivent être remplacées, car elles ne donnent alors aucun minimum utilisable dans le téléphone. Après avoir été platinées, les électrodes doivent être lavées soigneusement, car le noir de platine retient énergiquement les dernières traces de la dissolution qui l'imprégnait; pour la même raison, il faut répéter ces lavages chaque fois que les électrodes ont servi. Il faut encore remarquer que le dépôt de platine contenant du plomb est moins serré et moins solide que celui de platine pur : mais ce n'est pas un grand inconvénient en raison de la facilité avec laquelle on peut le renouveler.

La chaleur dégagée par le courant dans le liquide peut être la cause d'erreurs notables ; pour ce motif, il est bon de diminuer l'intensité du courant en mettant dans le circuit de la bobine d'induction une forte résistance, 1 000 ohms par exemple.

Remarque sur la mesure des résistances électrolytiques au moyen de l'électrodynamomètre. — Cette remarque se rapporte à la

discussion engagée sur cette question entre M. Wien et M. Kohlrausch.

En admettant que les électrodes employées par M. Grotrian et M. Kohlrausch aient les mêmes propriétés que celles de M. Wien, il faut remarquer qu'elles ont une surface plus grande (dans le rapport de 35 à 25), ce dont M. Wien n'a pas tenu compte. Les corrections calculées alors n'atteignent en aucun cas 0,001 et restent dans la plupart des cas inférieures à 0,0005. En ce qui concerne l'influence de la polarisation invoquée par M. Wien, il ne semble pas qu'elle soit aussi grande qu'il le prétend. L'expérience dans laquelle la résistance mesurée a augmenté de 1,6 U. S, quand la vitesse de l'inducteur passait de 70 à 30 tours par seconde, est tout à fait exceptionnelle ; en général, les variations sont beaucoup moindres. Le calcul de M. Wien peut néanmoins indiquer quelle surface minima on doit donner aux électrodes pour obtenir une exactitude suffisante.

M. L.

Sur les chevilles de rhéostat;

Par F. KOHLRAUSCH [1].

Quelques constructeurs donnent aux chevilles de rhéostat une forme massive, dans le but de diminuer leur résistance ; mais, en réalité, la résistance totale de la cheville ne provient pas tant du corps même de cette cheville que du contact défectueux entre le corps et le bloc. M. Kohlrausch a voulu s'assurer qu'en réalité les formes massives ne présentaient à cet égard aucun avantage, tandis qu'elles ont au contraire l'inconvénient d'être moins faciles à manier et de se détériorer plus vite par l'usage.

Pour mesurer la résistance des chevilles, il suffit de prendre une dérivation sur les blocs, pendant que ceux-ci sont parcourus par un courant constant. On trouve qu'avec toutes les formes, il est possible d'obtenir une résistance minima des chevilles égale à 1/20000 ou 1/25000 d'ohm. On obtient ce résultat en passant les chevilles à l'émeri fin et en les essuyant ensuite avec un linge, en nettoyant de même les trous avec un linge, humecté comme le précédent, avec un peu de pétrole. Au contraire, quand on opère sans précautions, la résistance des chevilles peut atteindre 0,01 ohm. Il ne suffit pas non plus d'enfoncer simplement les chevilles, mais il faut en même temps les faire tourner.

Les bandes de cuivre qu'on emploie fréquemment pour relier deux séries de blocs, doivent être aussi nettoyées avec soin, car leur résistance peut atteindre 1/400 d'ohm au lieu de 1/12000 ohm.

Il faut encore remarquer que souvent, en enlevant des chevilles, on fait se soulever les chevilles voisines, dont la résistance peut augmenter d'une façon notable. On a observé ainsi une augmentation du double avec des chevilles de 3 1/2 mm de diamètre, du quadruple avec des chevilles de 6 mm et du *centuple* avec de chevilles de 8 mm. M. L.

[1] *Wied. Ann.* LX, p. 332-335, 1897.

CHRONIQUE

Le développement de l'électrométallurgie du cuivre aux États-Unis. — TITUS ULKE, dans une lettre adressée au *Zeitschrift fur Elektrochemie* fait l'historique de l'industrie de l'électrométallurgie du cuivre aux États-Unis.

Il rappelle que la première usine d'affinage, de cuivre par les anciens procédés fut créée en 1880, à Newark, par M. Balbach. Plus tard, en 1887 on fondait la puissante compagnie qui exploite aujourd'hui la Baltimore Electrolytic Copper Works. Dans les premières années cette usine ne produisait que très peu de cuivre. Ce ne fut guère qu'en 1890, qu'on fit les premiers essais de raffinage par voie électrolytique. Les résultats acquis furent si satisfaisants que la Compagnie faisait construire, en 1891, la grande usine de Hayden que, dès l'année suivante, elle était forcée d'agrandir. La production s'est alors accrue jusqu'à l'époque actuelle dans des proportions considérables jusqu'à dépas-

ser 100 tonnes par jour, ce qui représente les deux tiers environ de la totalité du minerai fourni par les mines d'Anaconda.

Peu d'années après, en 1893, une nouvelle usine, celle de Boston and Montana Copper and Silver C°, était érigée à Great Falls (Mont.). Cette dernière transforme l'énergie hydraulique d'une des chutes voisines en énergie électrique qu'elle utilise dans ses cuves. Vint ensuite l'usine d'Anaconda (Voir *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 185; 24 octobre 1896), puis celle de la Guggenheim C°, à Perth Amboy (Voir *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 380, 21 novembre 1896) et enfin diverses autres moins importantes. Les minerais proviennent pour la plupart des États de Montana, du Canada et du Colorado; la Nichols Chemical C° est la seule qui en reçoit d'Espagne.

En 1892, on comptait, pour le monde entier, 30 usines d'affinage électrolytique produisant annuellement 32 000 tonnes de cuivre. L'année suivante les usines américaines en livraient au commerce à elles seules 37 500 tonnes, soit un quart environ de la quantité produite par les différents procédés, aux États-Unis (146 330 tonnes). En 1895, ce chiffre était presque doublé (56 500 tonnes). La progression continua ainsi d'année en année jusqu'à 87 000 et finalement à 124 830 tonnes de cuivre électrolytique, soit plus de la moitié de la production totale des États-Unis et près d'un tiers de celle du monde entier.

Nous avons réuni dans le tableau suivant les noms des usines en cours d'exploitation aux États-Unis.

Compagnies.	Localités.
1. Baltimore Copper Smelting and Rolling C°.	Baltimore (Md.).
2. Anaconda Mining C° . . .	Anaconda (Mont.).
3. Nichols Chemical C° . . .	Laurel-Hill (N.-Y.).
4. New England Electrolytic Copper C°	Central Falls (R.-I.).
5 Bridgeport Copper C°. . .	Bridgeport (Conn.).
6. Balbac Smelting and Refining C°.	Newark (N.-J.).
7. Guggenheim Smelting C°.	Perth-Amboy (N.-J.)
8. Boston and Montana Copper and Silver C°. . . .	Great Falls (Mont.)
9. Irvington Smelting and Refining C°.	Irvington (N.-J.).
10. Chicago Copper Refining C°	Blue Island (Ill.).
11. Omaha and Grant Smelting C°.	Omaha (Neb.).

Suivant l'ordre numérique, le tableau ci-dessous donne les détails relatifs au matériel électrique, nombre de bains, mode de groupements, etc.

			Nombre de bains.	Intensité de courant par m^2 de surface d'anodes. Groupement.	Production journalière.
1.	8 Edison. . . . . . . 3 Westinghouse . . .	80 kilowatts chacune » »	540	80-120 sér. et par.	90-108 tonnes.
2.	5 Westinghouse . . . 2 » . . .	270 » 220 »	1 200	80-90 par.	50 »
3.	3 General Electric . .	90 »	90	100-150 sér.	40 »
4.	2 General Electric . . 6 Edison.	50 » 65 »	560	130-200 par.	40 »
5.	3 General Electric . .	60 »	432	130-200 »	30 »
6.	8 Excelsior.	30 »	432	70-100 »	30 »
7.	2 General Electric . .	200 »	360	70-100 »	27 »
8.	4 Thomson-Houston.	180 »	288	150 »	20 »
9.	2 Hochhausen	60 »	96	150 »	9 »
10.	2 Edison.	64 »	165	70-100 »	5 »
11.	1 Excelsior	6 »	48	70 100 »	1 »

Certaines de ces usines ne sont pas encore en plein rendement; ainsi celle d'Anaconda, par exemple, est outillée pour produire 120 tonnes de cuivre électrolytique par jour et celles de la Nichols C°, Boston and Montana C° ont une production journalière d'un dixième et même de moitié inférieure à leur capacité.

Le coût de raffinage, par tonne de cuivre, varie de 40 à 45 fr pour les usines portant les numéros 1, 4, 5, 6, 9; de 60 à 70 fr pour le numéro 2; 50 fr pour le numéro 3; 45 fr pour le numéro 7; 60 fr pour le numéro 8; 50 et 60 fr pour les numéros 10 et 11.

La production journalière de l'or et de l'argent recueillis mérite également d'être signalée. Nous avons reproduit dans le tableau suivant les quan-

tités respectives fournies par chacune des usines prises selon leur ordre numérique.

Usines.	Production journalière. Or.	Argent.
1	1417,25 gr	311,79 kg
2	708 »	155,40 »
3	481,87 »	80,03 »
4	226,76 »	68,02 »
5	170,07 »	41,01 »
6	367,49 »	65,19 »
7	1700,72 »	283,45 »
8	113,38 »	34,01 »
9	28,34 »	14,17 »
10	28,34 »	11,33 »
11	56,69 »	8,50 »
	Total. 5298,91 gr.	Total. 1072,90 kg.

La production moyenne journalière des 11 affineries américaines est de 342 tonnes de cuivre électrolytique. Il est à remarquer que le prix de fabrication est beaucoup moindre qu'au-début. Ainsi, en 1892 ce prix était de 100 à 120 fr par tonne; aujourd'hui quelques usines l'obtiennent, conformément à ce qui a été dit plus haut, avec une dépense de 40 fr seulement par tonne; mais en moyenne on compte le prix de revient à 60 et 70 fr alors qu'en Europe il s'élève encore de 75 à 90 fr. par tonne.

Action des rayons X sur l'épiderme. — Dans une note présentée à la séance du 15 mai dernier de l'Académie des sciences, M. Destot relatait les résultats de son étude de l'action des rayons X sur l'épiderme.

Tout d'abord l'auteur fait observer que les troubles trophiques attribués aux rayons X diffèrent à divers points de vue de ceux des coups de soleil desquels on avait crû devoir les rapprocher, principalement par ce fait qu'ils ne se manifestent qu'un laps de temps souvent considérable, de 48 heures à 20 jours, après le moment où l'on a cessé de faire agir les rayons.

Pour cette même raison il est difficile d'admettre une action directe des rayons X sur les tissus. D'ailleurs les troubles ne se manifestent pas quand la distance du tube producteur à la peau atteint une certaine valeur, ou quand on place sur le trajet des rayons une feuille mince d'aluminium reliée au sol qui cependant laisse passer les rayons, ou enfin quand on excite le tube avec une machine statique comme l'auteur l'avait reconnu avant M. Frei (*L'Éclairage électrique*, t. X, 191, 23 janvier 1897). Aussi l'auteur conclut que les troubles observés ont pour point de départ le système nerveux sensitif inconscient, réagissant sur la moelle et amenant secondairement les troubles signalés, par l'intermédiaire des vaisseaux.

Il a été ainsi conduit à examiner l'effet sur les battements du pouls d'un tube excité par une bobine d'induction et par une machine statique. Dans l'un et l'autre cas le tube était placé à 5 cm de la main ; l'exposition durait une heure ; le pouls était inscrit au sphygmographe à cylindre de Marey et pris sur le bras opposé à celui exposé aux rayons. Avec la machine statique on voit, au bout de 10 minutes, le dicrotisme disparaître, le pouls se tend, mais il n'y a pas de modifications dans le nombre de pulsations ; au bout d'une heure le tube est arrêté et le pouls reprend presque immédiatement sa forme et son allure normales. Avec la bobine, le pouls montre d'abord une tension passagère, qui est bientôt suivie d'une chute considérable, accusée par l'exagération du crochet et du polycrotisme ; puis survient de l'arythmie avec pulsations avortées ; le tube étant arrêté le pouls ne reprend pas sa forme, si bien qu'au bout d'une seconde heure il est aussi modifié que si le tube fonctionnait. Dans les deux cas, des plaques photographiques ont été impressionnées et l'on ne peut y trouver de différence d'intensité.

L'auteur conclut de ces résultats que l'onde électrique et sa forme sont la cause des troubles, et non les rayons X eux-mêmes.

La station hydraulique à courants triphasés de Middlesex (Amérique). — Depuis l'année dernière l'on songeait à utiliser les eaux de la Winoski River en créant une station hydraulique qui distribuerait de l'énergie électrique dans les villes environnantes. L'entreprise a été menée à bonne fin et les installations sont depuis peu entrées en fonctionnement.

La rivière utilisée peut fournir en moyenne une puissance de 2 500 chevaux avec un débit à peu près invariable que régularise d'ailleurs un immense réservoir naturel. On a dérivé les eaux de cette rivière par un canal de 180 m de long à l'extrémité duquel est construit un solide barrage en forme de V de 44 m de long sur 10 m de haut. C'est de ce barrage que partent les conduites d'amenée aux turbines.

La station est située à Middlesex ; son équipement hydraulique se compose de 3 roues Alcott pouvant fournir chacune une puissance de 750 chevaux sous une hauteur de chute de 14,40 m. Le matériel électrique, encore incomplet, ne comprend que deux alternateurs Westinghouse à courant triphasé de 150 kilowatts chacun et 2 excitatrices.

Les alternateurs, entraînés par courroies, engendrent du courant à 2 500 volts ; une partie de ce courant est envoyée à Montpellier, ville distante d'environ 10 km de la station, et le reste est transformé en courant à 5 500 volts pour être dirigé sur Barrie, autre ville située à 22 km. Les transformateurs de la station sont établis pour élever le potentiel jusqu'à 10 000 volts et c'est à cette tension que le courant sera envoyé sur les lignes aériennes à mesure que les demandes augmenteront.

Dans les villes qui viennent d'être citées, le courant est, après avoir été ramené à une tension convenable, utilisé pour l'éclairage par incandescence par de nombreux moteurs à courants triphasés dont la puissance varie de 1 à 20 chevaux.

On se propose de compléter le matériel générateur de cette station par une dynamo pour tramways d'une puissance de 150 kilowatts et une batterie d'accumulateurs.

Plan incliné des Magasins du Louvre. — La « Société des Grands Magasins du Louvre » vient de faire construire, dans ses magasins de la rue Saint-Honoré, un plan incliné mobile qui présente un grand intérêt, tant au point de vue de la nouveauté du système que de la perfection du fonctionnement. Cet appareil consiste en une toile sans fin, de 1 m de largeur environ, tendue sur des rouleaux aux lieu et place de marches d'un escalier ordinaire et marchant à une vitesse de 30 cm par seconde environ. Ainsi les personnes qui s'avancent entre les rampes d'un escalier et mettent leur pied sur la toile sont remontées à l'étage supérieur sans fatigue et sans secousses. En arrivant en haut elles sont doucement déposées sur le plancher sans qu'elles aient à faire le moindre mouvement, ou du moins, le mouvement qu'elles font alors est si naturel qu'elles ne s'en aperçoivent pas. Ce dernier résultat est obtenu d'une façon très simple, par ce seul fait que l'arête supérieure du rouleau final est plus élevée que le plancher ; ainsi les personnes ayant dépassé cette arête se trouvent rejetées en avant par le changement d'inclinaison et font inconsciemment le pas, qui, tout en leur rendant l'équilibre, leur fait quitter la toile.

Deux rampes de velours se meuvent avec la même vitesse que le sol et peuvent servir de point d'appui aux personnes qui ne se sentiraient pas en sûreté mais — et c'est là un point important — elles sont peu utilisées, même par les personnes âgées. L'accueil fait à ce mode de transport par les personnes les plus craintives, permet d'espérer que l'emploi s'en généralisera et que peut-être nos enfants verront les rues de Paris bordées de ces trottoirs qui feraient vite oublier les si confortables et si spacieux véhicules de la Compagnie Générale des Omnibus.

La toile de ce plan incliné est entraînée au moyen d'une dynamo de l'Industrie électrique pouvant fournir 14 chevaux-vapeur, mais débitant seulement 60 à 70 ampères, sauf à certains moments de la journée où le service est très chargé.

Aux premiers essais, faits alors que la vis sans fin et les engrenages n'étaient pas encore rodés, on a compté 15 à 18 ampères pour entraîner tout le mécanisme, mais ce chiffre a baissé depuis et baissera encore ; pour opérer l'ascension il faut 3 ampères par personne, mais pour ce chiffre encore il faut compter sur une baisse assez importante. Tout compte fait la dépense journalière ne sera pas beaucoup plus élevée que pour un ascenseur et le service se fera d'une façon continue et rapide.

ERRATA

N° 15. — 3 avril 1897.

Page 70, 1re colonne, ligne 36, *lire* 3/2 *au lieu de* 2/3.

Page 71, 2e colonne, ligne 9, *lire* $i = i'\sqrt{\frac{n(n-1)}{3}}$ *au lieu de* $i'\sqrt{\frac{n(n-1)}{3}}$.

Page 71, 2e colonne, ligne 11, *lire* $i' = \frac{i}{\sqrt{2}}$ *au lieu de* $i' = i' = \frac{i}{\sqrt{2}}$.

Page 72, dans le tableau II, les chiffres de la première colonne 1, 2, 3..., 10, doivent être remplacés par 2, 3, 4,..., 11 ; dans la seconde colonne, le premier nombre 2,93 doit être remplacé par 2,63.

Le Gérant : C. NAUD.

TABLE DES MATIÈRES

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

Conducteurs et électrolytes.

Diélectriques.

Décharge électrique.

Oscillations hertziennes.

Rayons Rœntgen, Rayons Becquerel, etc.

Magnétisme.

Sources d'électricité.

Météorologie électrique et magnétique.

Électro-optique et électrobiologie.

APPLICATIONS

Génération de l'électricité.

Distribution de l'énergie électrique.

Applications mécaniques.

Traction.

Télégraphie et téléphonie.

Applications thermiques.

Éclairage.

Électrochimie.

Mesures.

Divers.

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

C

D

E

F

G

H

J

K

L

TABLE DES SUPPLÉMENTS

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY


Princeton University Library
32101 049009168

